

**VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ-  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

**Institut geodézie a důlního měřictví**

**Geodetické metody měření geometrie  
papírenských strojů**

diplomová práce

**Autor:**

Bc. Róbert Púchy

**Vedúci diplomovej práce:**

doc. Ing. Hana Staňková, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut geodézie a důlního měřictví

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Róbert Púchy**  
Studijní program: N3646 Geodézie a kartografie  
Studijní obor: 3646T007 Inženýrská geodézie  
Téma: **Geodetické metody měření geometrie papírenských strojů**  
**Geodetic Methods of Measuring the Geometry of Paper Machine**

Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky měření geometrie průmyslových zařízení.
2. Teoretický rozbor - východiska, přístrojové vybavení, zpracování výsledků.
3. Analýza přesnosti měření.
4. Zaměření části papírenského stroje - zpracování měření, analýza dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


MICHALČÁK, O., O. VOŠKA, M. VESELÝ a Z. NOVÁK. *Inžinierska geodézia II*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 363 s. ISBN 80-050-0678-0.  
HAMPACHER, Miroslav a Martin ŠTRONER. *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6  
ŠVÁBENSKÝ O., VITULA A., BUREŠ J.: *Inženýrská geodézie II*, Analýza přesnosti vytyčení polohy, GE03 Modul 01, VUT FAST Brno 2007  
POSPÍŠILOVÁ, Lucie, Jiří POSPÍŠIL a Hana STAŇKOVÁ. Micro-network creation in industrial surveying. *Geodesy and Cartography* [online]. 2012, 38(2): 70-74 [cit. 2015-01-23]. DOI: 10.3846/20296991.2012.692216. ISSN 2029-6991. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/20296991.2012.692216>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Hana Staňková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
doc. Ing. Pavel Černota, Ph.D.  
vedoucí institutu

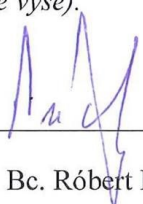


  
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
děkan fakulty

## ***Prohlášení autora diplomové práce***

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠBTUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 4. 2016



Bc. Róbert Púchy

## **Pod'akovanie**

Chcel by som pod'akovať vedúcej diplomovej práce doc. Ing. Haně Staňkové, Ph.D. za jej rady, opravy a pripomienky pri vyhotovení tejto práce.

Ďalej by som chcel pod'akovať firme Dif spol. s.r.o., ktorá mi umožnila zúčastniť sa pri meraní geometrie papierenského stroja PS7 v roku 2014, 2015.

## ANOTACE

Diplomová práca sa zaoberá geodetickými metódami pri meraní geometrie papierenských strojov. Rozoberá jednotlivé metódy, ich princíp, používanie a presnosť.

Cieľom diplomovej práce je priblížiť problematiku geodézie v priemysle ako špecifickú časť inžinierskej geodézie. Ďalším cieľom je analýza presnosti používaných geodetických metód pri meraní geometrie papierenských strojov a v poslednom rade ustavenie časti papierenského stroja a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

Výsledkom tejto diplomovej práce budú stanovené presnosti geodetických metód, ktoré sa používajú pri meraní geometrie papierenských strojov a výsledné hodnoty ustavenia časti papierenského stroja.

**Kľúčové slová:** geometrický parameter, papierenský stroj, ustavovanie, pozdĺžna osa, odchýlka

## ANNOTATION

The thesis deals with geodetic methods used in measuring the geometry of paper machines. It analyses various methods, their principles, using and exactitude.

The aim of this thesis is to approach the issue of geodesy in the industry as a specific part of geodetics engineering. Another objective is to analyze the exactitude of the geodetic methods used in measuring the geometry of paper machines and finally to fixation a part of the paper machine and to evaluate the obtained results.

The result of this thesis will determinate the precision of geodetic methods used in measuring the geometry of paper machines and the result values of the fixation of a part of the paper machine.

**Keywords:** geometric parameter, paper machine, fixation, center line, deviation

## Obsah

1.Úvod .....	1
2. Úvod do problematiky merania priemyselných zariadení.....	2
2.1 Vplyv prostredia na presnosť geodetických meraní v priemysle .....	4
2.1.1 Refrakcia.....	5
2.1.2 Vibrácia a chvenie .....	6
2.2 Papierenské stroje, ako zložité strojné zariadenia .....	7
3. Teoretický rozbor geodetických metód- východiska, prístrojové vybavenie, spracovanie výsledkov .....	10
3.1 Geodetické metódy merania geometrie papierenských strojov .....	11
3.1.1 Princíp metódy DOM (Direct Orientation Method) .....	12
3.1.2 Princíp metódy Change Station .....	15
3.1.3 Princíp určenia polohových odchýliek pri metóde DOM a Change station .	16
3.1.4 Princíp metódy opásania a metódy olovnice .....	18
3.1.5 Princíp určenia nivelety (geometrická nivelácia) .....	20
3.2 Východiská a prístrojové vybavenie.....	20
3.2.1 Mikrosieť a stabilizácia bodov .....	21
3.2.2 Pomôcky pre meranie geometrie PS.....	23
3.2.3 Prístrojové vybavenie .....	25
3.2.4 Súradnicový systém stanice (SCS) .....	26
3.2.5 Súradnicový systém objektu a stanice (OCS a SCS).....	27
3.2.6 Zásady presného merania .....	28
3.3 Spracovanie výsledkov .....	28
4. Analýza presnosti merania .....	30

5. Zameranie geometrie PS7 Mondi Štětí .....	34
5.1 Podstata a účel merania geometrie PS7 .....	34
5.2 Přípravné práce .....	35
5.3 Zameranie geometrie PS7 .....	36
5.4 Vyhodnotenie nameraných dát .....	38
5.5 Zhodnotenie výsledkov a odporúčenie .....	41
6. Závěr .....	44
Zoznam použitej literatúry .....	46
Zoznam obrázkov .....	48
Zoznam tabuliek .....	50
Zoznam príloh .....	51

## **Zoznam skratiek**

PS	Papierenský stroj
OCS	Súradnicový systém objektu
SCS	Súradnicový systém stanice
DOM	Direct orientation method
ATR	Auto Target Recognition



## 1.Úvod

V posledných desaťročiach je čoraz častejšie potreba overovať geometrické parametre strojných zariadení pri ich výstavbe a údržbe, tak aby strojné zariadenia pracovali správne, nepodliehali zbytočným haváriám, ktoré sú pre každý podnik záťažou a predovšetkým aby výsledné vyrábané produkty boli kvalitné.

Geodézia sa do priemyslu dostáva ako špecifická časť inžinierskej geodézie a to na základe potreby overiť geometrické parametre najrôznejších strojných zariadení, ako sú napríklad žeriavové dráhy, rotačné pece, valcovacie stolice, turbogenerátory alebo papierenské stroje.

Cieľom diplomovej práce je priblížiť problematiku geodézie v priemysle ako špecifickú časť inžinierskej geodézie a to konkrétne pri overovaní geometrických parametrov jednotlivých častí papierenských strojov, ktoré sa radia medzi najzložitejšie strojné zariadenia, či už po stránke výstavby alebo údržby. Úlohou je predovšetkým rozobrať geodetické metódy, ktoré sú v praxi používané pre overovanie a ustavenie jednotlivých častí papierenských strojov a urobiť analýzu presnosti používaných geodetických metód. Poslednou úlohou diplomovej práce je ustavenie časti papierenského stroja a zhodnotiť dosiahnuté výsledky.

Výsledkom diplomovej práce bude vypočítaná charakteristika presnosti používaných geodetických metód pri overovaní geometrických parametrov papierenského stroja a ich zhodnotenie, ďalej bude ustavená časť papierenského stroja, kedy na základe nameraných odchýliek jednotlivých častí papierenského stroja budú určené odporúčania pre ďalšiu prevádzku meraného papierenského stroja.

## 2. Úvod do problematiky merania priemyselných zariadení

Rozvoj podľa [6], moderných spôsobov výroby v strojníctve nutne vyžaduje nové meracie metódy na overovanie geometrických parametrov strojných zariadení pri montáži i v prevádzke a na kontrolu výrobkov, ktoré zo strojárských zariadení vychádzajú. Zdokonaľovanie meracích metód a vývoj nových metód a prostriedkov privádza do priemyselných závodov geodéziu, ktorá môže vhodne uplatňovať svoje postupy u presného merania výrobkov veľkých rozmerov pri ich montáži a pri vlastnej prevádzke.

Medzi takéto výroby a zariadenia patria žeriavy najrôznejších druhov a ich pohybové dráhy, rotačné pece, valcovacie stolice, turbogenerátory, papierenské stroje, zariadenia pre jadrové elektrárne, hriadeľové vedenie, antény, elektromotory, časti rozsiahlych oceľových konštrukcií a celá rada ďalších. Tím sa činnosť geodetov dostáva do priemyselných závodov a do prostredia, ktoré je úplne odlišné od prostredia, v ktorom sa vykonávajú tradičné geodetické práce.

Ak sa geodetické práce uplatňujú v priemyselných prevádzkach, skracujú sa podstatne dĺžky meraných či vytyčovaných objektov, a tieto dĺžky nie sú vo väčšine prípadov adekvátne s dĺžkami meraní či vytyčovaní v prírode. Na druhej strane prudko vzrastajú požiadavky na presnosť meraných dĺžok, uhlov, výšok, priamostí, zvislostí.

Vysoké požiadavky na presnosť meraných prvkov vynucujú nie len vývoj a zdokonaľovanie meracích metód a postupov, ale vyžadujú, aj teoretické riešenie meracích a vyhodnocovacích prác.

Veľmi presné geodetické meranie, napr. v základných polohových alebo výškových sieťach, sa prevádzajú jednak vo voľnej prírode, jednak sa opakujú za rôznych klimatických podmienkach. Tím sa vplyv atmosféry na výsledky merania do istej miery vylučujú. Okrem toho prírodné prostredie má svoje obecné zákonitosti, ktoré sú dostatočne preskúmané a ich znalosť nám umožňuje zavádzať do merania korekcie, ktoré vplyvom prostredia obmedzujú výsledky merania. Napríklad pri trigonometrickom meraní výšok sa zavádzajú korekcie z refrakcie a pod.

V priemyselnej geodézii sa nedá meranie opakovať za rôznych klimatických podmienok. Tieto merania viažu na postup výstavby, montáže alebo údržby, a preto sa musia urobiť v čo najkratšom čase. Tím odpadá možnosť eliminácie vplyvov prostredia na

výsledky geodetických meraní. Cesty k obmedzeniam vplyvov prostredia na meranie sú: vytvorenie umelého prostredia, v ktorom sa potom meranie vykonáva, alebo poznanie zákonitostí tých vplyvov, ktoré meranie znehodnocujú, s cieľom zvoliť spôsob alebo dobu merania, pri ktorom sa získajú optimálne výsledky.

Prvá cesta je vo veľkej väčšine prípadov nepoužiteľná, pretože nesmierne predlžuje a predražuje meranie. Preto sa používa druhý spôsob riešenia a to je určenie optimálnych podmienok pre meranie, tak aby výsledky, boli čo najmenej zaťažené chybami.

Väčšina geodetických meraní v priemysle sa odohráva vo vnútri budov, v dielňach, halách, prevádzkach, ktoré majú veľmi často zvláštne klimatické a prevádzkové podmienky. Najčastejšie sa prejavuje rôzna teplota na rôznych miestach, v ktorom sa meranie vykonáva.

Teplota vzniká jednak systémom kúrenia a vetrania, a ďalej tým, že zariadenia v prevádzkach využívajú rôzne tepelné zdroje. Napríklad v kotolniciach tepelných elektrární sa spaľuje uhlie alebo konkrétne v papierenských fabrikách, kde vyžarujú teplotu sušiacu sekcie papierenského stroja. Ďalším rušivým vplyvom na meraní je prievan, teda intenzívne prúdenie vzduchu. Svetelné podmienky sú tiež rôznorodé a kolíšu od intenzívneho osvetlenia cez šero až do na prostej tmy. Vykúrené miestnosti sú obvykle veľmi suché, podzemné miestnosti zas vlhké. V poslednom rade sa na meraní prejavujú následky chvenia alebo vibrácií, ktoré vznikajú chodom strojov a motorov najrôznejšieho druhu.

Zvláštnosti prostredia a druhu prác sa konečne prejaví v príprave merania a v práci samotnej. Zatiaľ čo stavebné výkresy majú pomerne jednoduchý geometrický tvar vytyčovaných objektov, v strojných výkresoch bývajú vytyčované body značne zložitejšie. Okrem toho je rozdiel v kótovaní: v stavebných výkresoch sa miery udávajú v centimetroch a kótuje sa kótovacími čiarami, v strojných výkresoch sa kóty uvádzajú v milimetroch alebo v desatinách milimetroch.

Ďalšou zvláštnosťou pri meraní v priemyselných prevádzkach je bezpečnosť. Členovia meračskej skupiny musia dodržiavať bezpečnostné predpisy a normy. V súčasnosti si bezpečnostné predpisy nárokuje každá prevádzka inak v závislosti s akými strojnými zariadeniami pracuje a aké riziká pri práci hrozia, môžu to byť chemické

opatrenia, práca vo výške, kedy sa musia používať prilby a postroje splňujúce bezpečnostné predpisy a normy atď.. Bezpečnosť je nutné dodržiavať za všetkých okolností, v ohrození nie je len vaše zdravie ale aj zdravie ostatných pracujúcich vo Vašom okolí, nakoniec za porušenie bezpečnostných predpisov sú v súčasnosti vysoké pokuty.

Geodézia v priemysle prešla vývojom, zdokonalili sa pracovné pomôcky a metódy a v súčasnosti geodetické meranie v priemyselných prevádzkach a meranie strojných zariadení je špecifickou časťou inžinierskej geodézie. Priemyselná alebo inžiniersko-priemyselná geodézia prichádza všade tam, kde už tradičné strojnícke meračské pomôcky nie sú schopné dané problémy vyriešiť v dostatočnej presnosti. Geodet v súčasnej dobe ku svojej práci využíva presné teodolity, nivelačné prístroje a predovšetkým totálne stanice, ktoré v súčasnosti dosahujú vysokej presnosti meraných uhlov a dĺžok. Takéto prístroje sú omnoho vhodnejšie a práca s nimi je efektívnejšia pri meraní rozsiahlejších a členitejších priemyselných zariadení ako sú napríklad žeriavové dráhy, rotačné pece, rozsiahle oceľové konštrukcie, papierenské stroje. Ďalšie podrobnosti ohľadom súčasného prístrojového vybavenia a ich presností sú riešené v kapitole 3.

Geodet spolupracuje pri výrobe, výstavbe a údržbe rôznych priemyselných zariadení, ktoré už boli spomínané. Jeho úlohou je často sledovanie stavu celkového stroja a jeho častí, čo sa v strojnictve nazýva technická diagnostika, ktorá zahŕňa tribodiagnostiku (mazanie), vibrodiagnostiku (sledovanie vibrácií jednotlivých častí stroja), ustavovanie strojov (kontrola geometrických parametrov a posúdenie ich správnosti). Geodet pri samotnej technickej diagnostike často nie je schopný dané problémy vyriešiť sám a preto spolupracuje s odbornými pracovníkmi daného odvetvia.

## **2.1 Vplyv prostredia na presnosť geodetických meraní v priemysle**

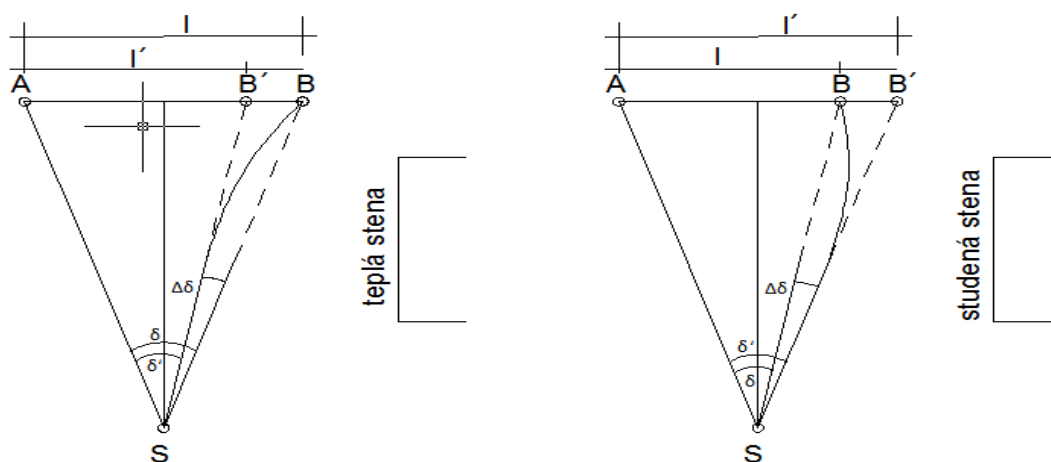
Vonkajšie vplyvy v pracovnom prostredí podľa [6], ako je refrakcia, vibrácia, chvenie, rezonancia, prúdenie vzduchu a osvetlenie cieľových značiek sa môžu špecificky prejavovať práve pri vytyčovacích prácach. Tieto chyby závisia na momentálnych atmosférických podmienkach, ktoré majú v určitej dobe systematický charakter a prejavujú sa až pri viacnásobnom meraní vykonanom za rôznych podmienkach pri meraní.

### 2.1.1 Refrakcia

Z týchto chýb je podľa [6], najnebezpečnejšia refrakcia. Je spôsobená rôznymi teplotami vzduchových vrstiev, ktorými prechádza zámerný lúč. Následkom rôznych teplôt vzduchových vrstiev je zmena hustoty vzduchu vo vrstvách. Potom zámerný lúč nimi neprechádza priamo, ale zakrivuje sa do oblúku, ktorý nahradzujeme oblúkom kružnice s veľkým polomerom. Refrakcia spôsobuje chyby v meraní zvislých aj vodorovných uhlov.

Bočná refrakcia vzniká vtedy, keď zámerná priamka prechádza blízko hmotných objektov, ktoré sú ohrievané slnečnými lúčmi alebo inými tepelnými zdrojmi. Obecne platí, že zámera má prechádzať najmenej 0,5 m nad terénom alebo prekážkou, a najmenej 0,5 m od prekážky. V priemyselnom meraní sa však nedajú tieto podmienky vždy dodržať.

Príklad bočnej refrakcie je znázornený na Obrázku č.1, pri meraní dĺžky paralaktickou metódou, kedy sa dôsledkom bočnej refrakcie zmení paralaktický uhol  $\delta$  o hodnotu chyby  $\Delta\delta$  a meraná dĺžka sa buď skráti alebo predĺži.



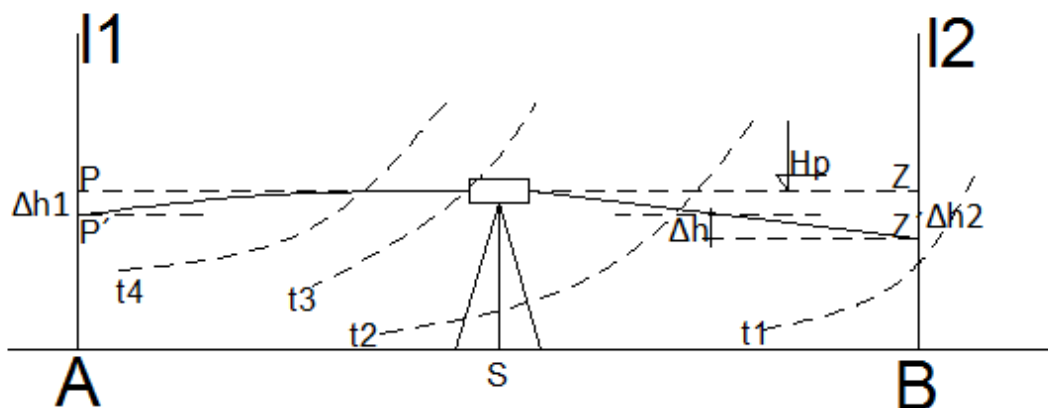
Obrázok č.1 Chyba z refrakcie u meraní paralaktickou metódou [6]

Výškové merania vykonávané geometrickou niveláciou sú poznamenané diferenčnou nivelačnou refrakciou, ktorý vplyv je obzvlášť viditeľný pri prechodu z voľného terénu do uzavretých priestorov. V uvedených prostrediach môžu byť značne rozdielne teplotné gradienty, ktoré spôsobujú rozdielne zakrivenia zámery vzad a zámery vpred. Ak je zámera

vzad odchýlená od priameho smeru o hodnotu  $\Delta h_1$  a záměra vpred odchýlená o hodnotu  $\Delta h_2$ , potom je diferenční nivelačná refrakcia:

$$\Delta h = \Delta h_2 - \Delta h_1, \quad (1)$$

kde  $\Delta h$  je chyba v nameranom prevýšení vplyvom diferenční nivelačnej refrakcie (viz. Obrázok č.2).



Obrázok č.2 Diferenční refrakcia u geometrickej nivelácii [6]

### 2.1.2 Vibrácia a chvenie

Vibrácia alebo chvenie sú spôsobované pohybujúcimi sa zdrojmi, ktoré sú umiestnené staticky na jednom mieste a nepretržite vyvolávajú vibrácie. Medzi takéto zdroje môžeme zaradiť napríklad turbogenerátory, čerpadlá, napájacie agregáty, sacie ventilátory, kompresory, a rada iných zariadení, ktoré sú poháňané elektromotormi alebo naftovými motormi.

Vibrácie alebo chvenie, ktoré tieto priemyselné zariadenia vyvolávajú sa prenášajú do okolia a spôsobujú vibrácie základovej dosky stroja, podlahy v blízkom okolí a ďalej sa prenášajú do statívu a z neho priamo do prístroja.

Takéto vibrácie prístroja spôsobujú chvenie obrazu, ktorý často krát nie je ani viditeľný ale v skutočnosti koná pomalý pohyb hore a dole poprípade do strán. Najväčší problém vzniká pri geometrickej nivelácii, kedy musíme odčítať hodnoty na nivelačnej late alebo na oceľovom pravítku.

V teréne pri klasickom meraní vieme takéto chyby odstrániť tým, že meranie prerušíme pokiaľ vibrácie neustúpia, ktoré sú v priamom teréne vyvolané či už meraním

pri vozovke alebo na stavbách, kde sa pohybuje ťažká technika. Pri meraní v priemyselných zariadeniach je často nemožné tieto chyby odstrániť úplne ale často ich môžeme len obmedziť. Najčastejšie odporúčenia sú postaviť nivelačný prístroj v dostatočnej vzdialenosti od zdroja vibrácií alebo ľahké priloženie dlane na nohy statívu, čo je veľmi nezvyčajné dotýkať sa statívu priamo pri meraní ale vo výsledku je to účinné.

Na záver je treba povedať, že technické vybavenie v súčasnosti prešlo vývojom. Totálne stanice umožňujú započítavať do vlastného merania korekcie z teploty, vlhkosti, tlaku a upozorňujú na nadmerné vibrácie atď.(viz 3.2 Východiská a prístrojové vybavenie), avšak pri meraní nivelačnými prístrojmi musíme stále dbať a dávať pozor na udávané chyby.

## 2.2 Papierenské stroje, ako zložité strojné zariadenia

V prvom rade je potreba povedať, že papierenské stroje patria medzi najzložitejšie strojné zariadenia, či už po stránke výstavby, prevádzky alebo údržby.

Papierenský stroj podľa [11], je strojné zariadenie na výrobu papiera, kartónu a lepeniek odvodnením zriedenej papieroviny, ktorá je pripravená v prípravne látok. V rozšírenom zmysle slova sa do toho to komplexu zahrňujú pod označením "konštantná časť" zariadenia od strojnej nádrže cez triedenie a čistenie papieroviny až k nátokovej skrini vlastného papierenského stroja.

Vlastný papierenský stroj- označovaný ako "variabilná časť" začína sitovou časťou papierenského stroja a delí sa na:

- sitovú časť, zahrňujúca nátokovú skriňu, sitový stôl (s odvodňovacími elementmi, tj. registrovými valcami, lištami, sacími skriňami a sitovým sacím valcom),
- lisová časť, zostavená z niekoľko párov lisových valcov, medzi ktorými je odvodňovaný papier,
- sušiacia časť, zostavená zo sušiacich valcov vyhrievaných vodnou parou,
- navíjacia časť, zostavená z nosných valcov a ďalších zariadení, ktoré zabezpečujú navíjanie vyrobeného papiera.

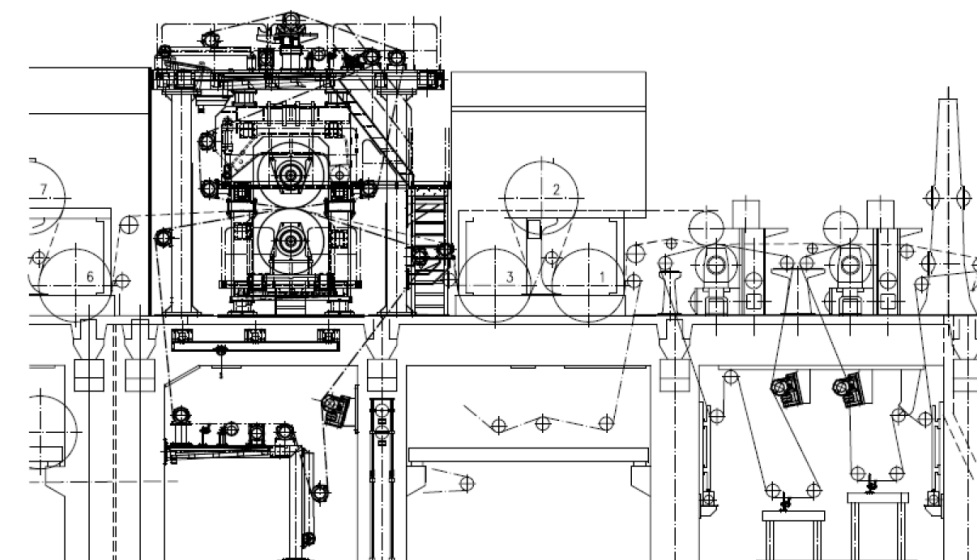
Zjednodušeně se dá povedat, že papírenský stroj se skládá z mokréj a sušej části, kde v mokréj části se papír lisuje a zbavuje vody a v sušej části se suší.

Mokrá část papírenského stroja začíná podľa [3], prsným valcom a končí posledným mokrým lisom. Vyznačuje sa tým, že premieňa papierovinu na papierový list postupným mechanickým odnímáním vody. Tento proces nazývame odvodňovaním. Sušiaca časť papírenského stroja začíná prvým sušiacim valcom a končí navíjajúcim zariadením papírenského stroja a to napriek tomu, že samotné sušenie prebieha len na sušiacich valcoch. Význam sušiacej časti je vtom, že povrchy sušiacich valcov, ktoré sú ohriate vykurovacou vodnou parou vysušujú nekonečný papierový list, ktorý sa nakoniec navinie v kotúč ako hotový výrobok pre ďalšie spracovanie.

Ďalej je treba povedať, že papírenský stroj ako môžeme vidieť na Obrázku č. 3, sa skladá z veľkého množstva valcov. Geodet pri technickej diagnostike papírenských strojov predovšetkým rieši práve ich geometrické parametre tak aby boli valce medzi sebou rovnobežné a zároveň kolmé na osu papírenského stroja (center line), ktorá prechádza stredom samotného papírenského stroja. Jednotlivé valce môžeme rozdeliť na:

- prsné valce (u nátoky papírenského stroja),
- registrové valce (pracujú len pri pomalobežných strojov),
- sitové sacie valce (na konci sitového stola),
- lisové valce ("srdce papírenského stroja", najdôležitejšie valce celého papírenského stroja),
- sušiacie valce- cylindre (valce, ktoré slúžia na sušenie papierového listu),
- vodiace valce,
- napínacie valce (slúžia k správne napnutiu sita),
- regulačné valce (regulujú smer sita).





Obrázok č.3 Schéma časti papierenského stroja [12]

Hlavným dôvodom technickej diagnostiky (meranie a ustavovanie), papierenských strojov je zvýšenie rýchlosti papierenského stroja za účelom zvýšenia ekonomiky. Druhým dôvodom je vyvarovať sa haváriám papierenského stroja, ktoré sú veľmi nepriaznivé po stránke ekonomickej. Haváriou papierenského stroja sa rozumie napríklad zlé ustavenie valca alebo viacerých valcov, kedy dochádza k pretrhávaniu papiera, alebo v najhoršom prípade aj sita samotného, zničenie vnútorného ložiska valca na základe jeho vyosenia atď.. Takýmto haváriám, ktoré spôsobujú neplánované odstávky papierenského stroja sa chce vyvarovať každá priemyselná prevádzka a preto sa v súčasnosti často venuje pozornosť pravidelnej technickej diagnostike celého papierenského stroja tak aby sa neplánované odstávky znížili na minimum a zvýšila sa tak rýchlosť a kvalita vyrábaného papiera.

### **3. Teoretický rozbor geodetických metod- východiska, prístrojové vybavenie, spracovanie výsledkov**

Tak ako bolo povedané v úvode geodézia v priemysle prešla vývojom a radí sa medzi špecifickú časť inžinierskej geodézie. V minulosti sa používali optické teodolity, pre meranie polohy, pre získavanie dĺžok sa používala paralaktická metóda, používali sa strojné vodováhy alebo nivelačné prístroje pre meranie výšok. V súčasnosti sa využívajú špeciálne totálne stanice a nivelačné prístroje pre veľmi presnú niveláciu. Požadovaná presnosť konkrétne ustavenia valcov a ďalších častí papierenského stroja je  $\pm 0,3$  mm a niekedy sa pohybuje na hranici geodetických strojov a používaných metód. Pre dodržanie presnosti je nutné dodržiavať radu pravidiel tak aby boli dodržané optimálne podmienky merania a výsledky splňovali požadovanú presnosť.

Geodetické meranie v priemysle pozostáva tak ako v klasickej geodetickej praxi z polohového a výškového merania (ustavovania). Takéto geodetické merania a ustavovania v priemysle sa pohybujú väčšinou v relatívnych hodnotách, ale môžu sa vyskytnúť merania v absolútnych hodnotách, kedy je potrebné inštalovať nové strojné diely alebo celé časti strojných zariadení podľa projektovaných súradníc.

Konkrétne u polohového merania a ustavovania papierenských strojov sa vychádza z pozdĺžnej osy papierenského stroja, ktorá prechádza stredom papierenského stroja a je stabilizovaná mimo stroja tak aby bola prístupná. Druhá zaužívaná metóda je metóda, kedy sa vychádza z bodového pola, ktoré je stabilizované po obvode papierenského stroja. Výškové merania pri ustavovaní valcov sa robia len v relatívnych meraní. Ďalšie podrobnosti ohľadom spomenutých metód a prístrojov sa píše v tejto kapitole nižšie.

Pre oblasť merania papierenských strojov nie sú k dispozícii normy na úrovni ISO. Preto je nutné vychádzať z podnikových noriem výrobcov, ako sú napríklad Valmet, Voith, Bellmer, Papcel a ďalší. V Tabuľke č.1, sú tolerancie polohy doporučené od Valmet.

Časti stroja	Niveleta, kolmost' [mm]
Rámy stroja	$\pm 0,20$
Lisové a sušiacie valce	$\pm 0,15$
Vodiace valce	$\pm 0,15$

Tabuľka č.1 Tolerancie polohy pre PS podľa Valmet

Pre geodetické meranie papierenského stroja a splnenie uvedených tolerancií v Tabuľke č. 1, by pre geodeta znamenalo prakticky ustavenie celého papierenského stroja od základov, čo v dnešnej praxi nie je možné. Preto boli stanovené hodnoty, ktoré určujú najviac poškodené miesta papierenského stroja a miesta, ktoré je potreba ustaviť ako prvé. Tieto doporučené tolerancie v Tabuľke č.2, vychádzajú zo skúseností a samotnej praxe.

Časti stroja	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	<b>Prevádzka</b>	<b>Akceptovateľné</b>	<b>Stop</b>	<b>Havária</b>
Sušiacie valce	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	Nad $\pm 1,0$	Nad $\pm 5,0$
Vodiace valce	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	Nad $\pm 1,0$	Nad $\pm 5,0$
Regulačné a napínacie valce	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	Nad $\pm 2,0$	Nad $\pm 5,0$
Lisové valce	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	Nad $\pm 1,0$	$\pm$ Nad $\pm 1,5$

Tabuľka č.2 Upravené hodnoty tolerancie polohy pre PS

### 3.1 Geodetické metódy merania geometrie papírenských strojů

Tak ako bolo povedané v úvode tejto kapitoly geodetické meranie pozostáva z polohové a výškového merania. Avšak v súčasnosti sa využívajú veľmi presne totálne stanice, ktoré umožňujú pracovať v 3D systéme, ktorý umožňuje určovať súradnice X,Y,Z, podrobných bodov a tak geodet môže riešiť geometriu strojných častí výškovo aj polohovo v jednom okamžiku. Totálne stanice (konkrétne Leica TDA 5005, viz. 3.2 Východiská a prístrojové vybavenie), ktoré sa používajú pre takéto merania využívajú tieto metódy:

- priama metóda orientácie DOM ( Direct orientation method), ktorá využíva pozdĺžnu osu papierenského stroja,

- metoda Change station, ktorá využíva bodové pole po obvode papierenského stroja.

Pre určovanie polohy geometrie papierenských strojov sa vo výnimočných prípadoch, kedy jednotlivé valce papierenského stroja nie sú prístupné, sa používajú tieto metódy:

- opásanie (pomocou pásma),
- metoda olovnice,

a pre určovanie výšky (nivelety), kedy nie je potrebné určovať polohu:

- geometrická nivelácia.

### **3.1.1 Princíp metódy DOM (Direct Orientation Method)**

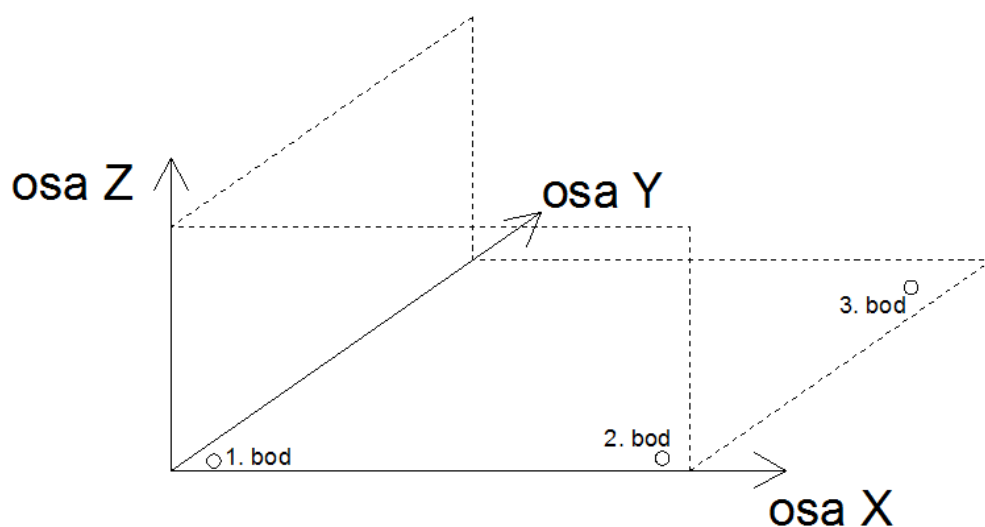
Priama metóda orientácie DOM, podľa [1], spočíva v definovaní smeru os súradnicového systému objektu (ďalej len OCS).

Postup metódy je nasledovný:

#### **1. Referenčná rovina**

Referenčnú rovinu môžeme definovať pomocou súradníc  $(x,y)$ ,  $(x,z)$  alebo  $(y,z)$ , kedy zvolená rovina je určená:

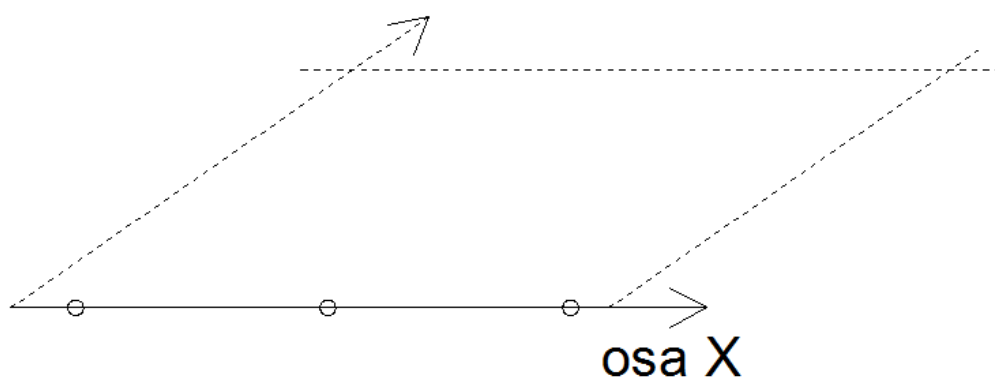
- aspoň tromi referenčnými bodmi z meranými v súradnicovom systéme stanice (ďalej len SCS). Tieto tri body, ako je naznačené na Obrázku č.4, definujú kladný smer normálového vektoru roviny,
- alebo rovnobežne s horizontálnou rovinou, to znamená, že normála je rovnobežná s osou Z.



Obrázok č.4 Referenčná rovina [1]

## 2. Referenčná osa

Po definovaní smeru roviny sa zvolí a definuje smer príslušnej osy roviny. Za predpokladu, že je zvolená a definovaná rovina (x,y), sa postupuje ďalej tak, že sa definuje smer osy X alebo Y. Definovanie osy SCS sa určuje meraním aspoň dvoch referenčných bodov, kedy kladný smer je od prvého bodu k druhému.



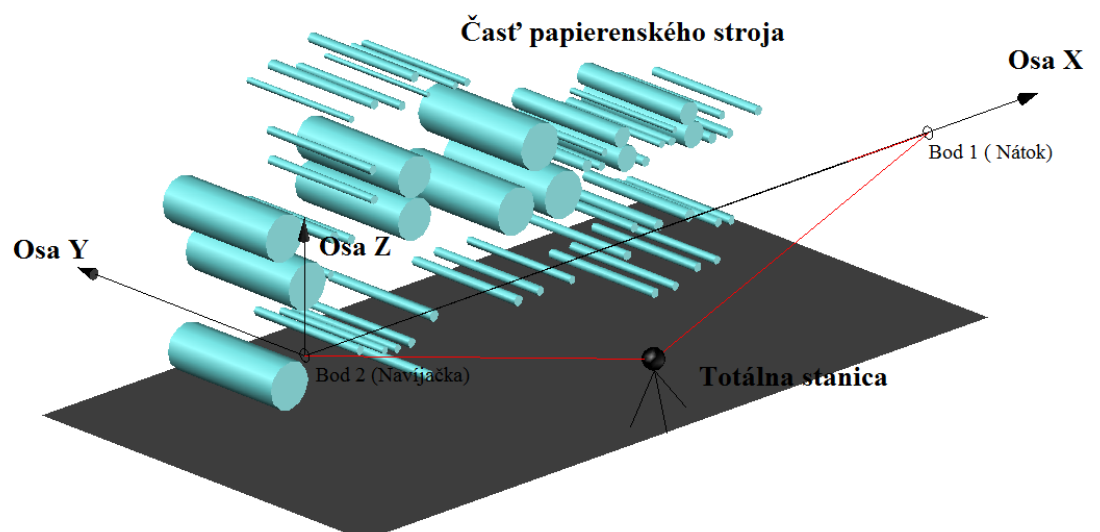
Obrázok č.5 Referenčná osa [1]

### 3. Offset bod

Po definovaní smeru osy OCS sa zvolí a definuje offset bod . Hodnoty súradníc X, Y, Z offset bodu sú dané v OCS a naopak merané v SCS. Hodnoty v OCS môžu byť rovné (0,0,0), alebo iným ľubovoľným hodnotám.

Pri meraní geometrie papírenských strojov je pre meranie východiskom center line PS (osa PS), ktorá je odsunutá na strane obsluhy papírenského stroja, tak aby bola prístupná. V takomto prípade sa postupuje pri tejto metóde takto:

- definuje sa referenčná osa, v tomto prípade je to osa X. Osa X je určená zameraním odsunutej center line (osa PS), ktorá je stabilizovaná pomocou dvoch bodov na obsluhu papírenského stroja. Prvý bod sa meria vždy po ľavej strane z pohľadu geodeta na papírenský stroj na strane obsluhy. Na Obrázku č.6 je to v tomto prípade bod 2 na strane navíjačky papírenského stroja. Osa Y potom smeruje do papírenského stroja a dopĺňa tak systém na pravouhlý,
- v druhom kroku určíme počiatok súradnicovej sústavy (Offset bod). Offset bod má nulové všetky tri súradnice a je to bod odsunutej center line a podľa Obrázku č.6 je to opäť bod na strane navíjačky papírenského stroja,



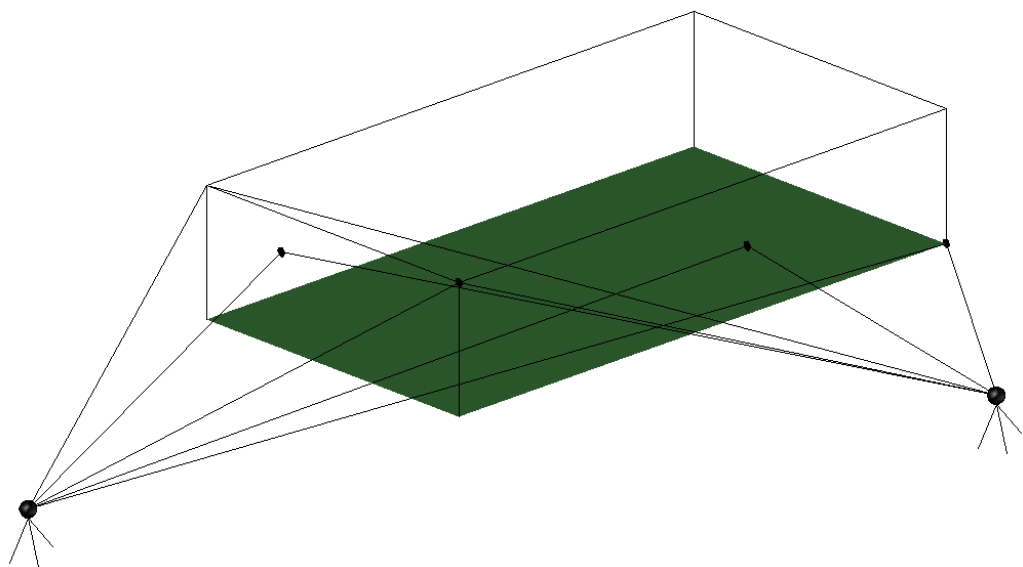
Obrázok č.6 Definované súradnicové osy pri metóde DOM

- po definovaní referenčnej osy a počiatku súradnicovej sústavy (orientácii prístroja), môžeme začať merať geometriu daného valca. Celá situácia je zobrazená na Obrázku č.6.

### 3.1.2 Princíp metódy Change Station

Metóda change station je založená na bodoch definovaných v OCS a SCS. K výpočtu transformácie je potreba aspoň tri body. Pokiaľ sa ale pri tejto metóde použije urovnávacia rovina prístroja ako referenčná rovina k výpočtu sú potrebné aspoň dva body. Táto metóda je vhodná pre meranie kedy je potrebné merať z viacerých stanovísk, ale využíva sa hlavne tam, kde nie je definovaná center line (osa PS) a nie je tak možné použiť metódu DOM.

V klasickej geodézii nazývame túto metódu prechodné stanovisko, kedy sa orientujeme na známe body. Rozdiel jednotlivých metód je ten, že sa pohybujeme v dvoch súradnicových systémoch (OCS- súradnicový systém objektu, SCS- súradnicový systém totálnej stanice), kedy je nutná transformácia medzi nimi. Priestorovú transformáciu totálna stanica spočíta po zadaní a zmeraní potrebných vstupných hodnôt. Ako náhle je prístroj zorientovaný, po meraní jednotlivých bodoch na valcoch sa zobrazujú skutočné súradnice.

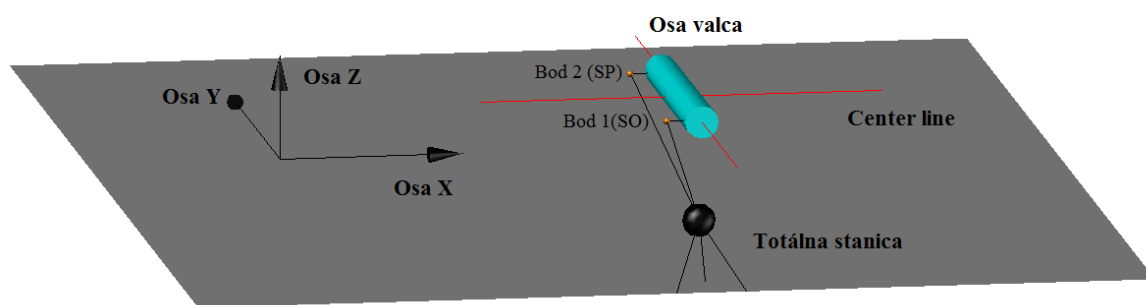


Obrázok č.7 Príklad rozloženia transformačných bodov [1]

### 3.1.3 Princíp určenia polohových odchýliek pri metóde DOM a Change station

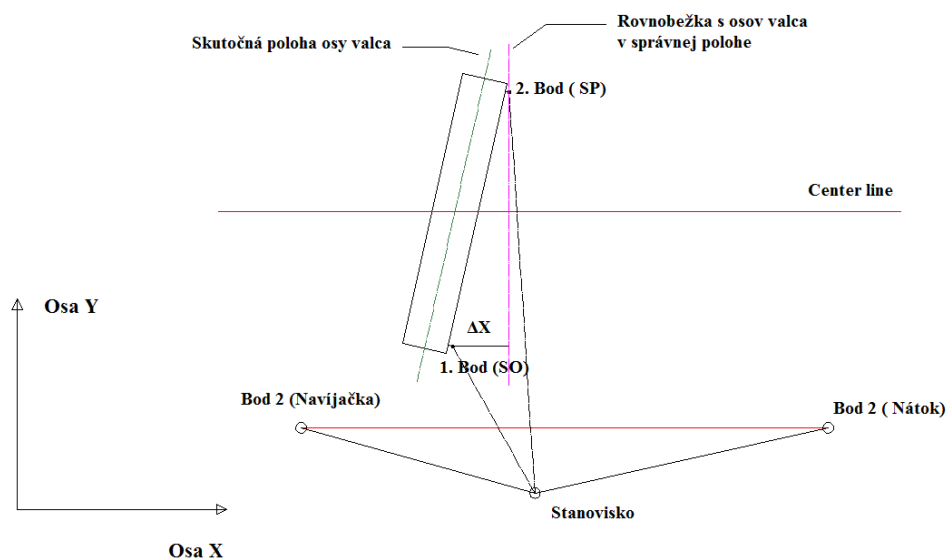
Po orientácii a definovaní súradnicových osí a orientácie totálnej stanice môžeme začať merať jednotlivé body na valcoch PS, kedy sa zobrazujú skutočné súradnice v definovanom súradnicovom systéme. Tak ako bolo povedané vyššie os valcov musí byť kolmá na center line PS. Úlohou geodeta je zistiť skutočnú polohu osy valca voči osi, ktorá je kolmá na center line PS.

Po orientácii sa zamerajú dva body na valci, jeden na strane obsluhy (SO) a druhý bod na strane pohonu (SP) papierenského stroja. Pri určovaní polohových odchýliek musia mať tieto dva body merané na valci PS približne rovnakú Z súradnicu, potom čo dosiahneme rovnaké Z súradnice sledujeme diferencie X súradníc, ktorá určuje polohovú odchýlku od správnej polohy osy, ktorá je kolmá na center line PS. Výslednú diferenciu zapíšeme do zápisníku a pridelíme jej znamienko + alebo -, podľa toho ktorým smerom je valec vychýlený. Znamienko + pridelíme, pokiaľ je valec vychýlený smerom kladnej osy X a znamienko -, pokiaľ je valec vychýlený v proti smeru kladnej osy X. Celá situácia je zobrazená na Obrázku č.8, ďalej na Obrázku č.9 je zobrazená situácia v pôdoryse a na Obrázku č.10 samotné merané súradnice a ich diferencie.



Obrázok č.8 Prehľadná situácia určenia polohovej odchýlky





Obrázok č.9 Prehľadná situácia určenia polohovej odchýlky v pôdoryse

Na Obrázku č.9 je zobrazené určenie polohovej odchýlky valca  $\Delta X$ . V tomto prípade je poloha valca odchýlená v proti smere kladnej osy X a preto by mala výsledná polohová odchýlka znamienko  $-\Delta X$ . Po zistení tejto odchýlky je úlohou geodeta ustaviť valec do správnej polohy tak aby jeho osa bola kolmá na center line PS. Z výsledku merania vyplýva, že valec na strane obsluhy papierenského stroja je potreba posunúť smerom k nátoku PS o hodnotu  $\Delta X$ . V prípade, že nie je možné na strane obsluhy s valcom hýbať, čo sa stáva v praxi často, musíme valec posúvať na strane pohonu ale opačným smerom, to znamená že na strane pohonu sa valec posunie smerom k navijacke o hodnotu  $\Delta X$ .



Obrázok č.10 Merané súradnice a ich diferencie

Jednotlivé valce sa posúvajú do vtedy, kým polohové alebo výškové odchýlky nedosahujú povolené tolerancie, ktoré sú uvedené v Tabuľke č.2, samozrejme vo výnimočných situáciách, kedy napríklad s konštrukčných dôvodov nie je možné valec ustaviť do správnej polohy sa polohové a výškové odchýlky minimalizujú.

Pomocou metód DOM alebo Change station môžeme určovať aj výškové odchýlky  $\Delta Z$  (niveleta valcov). Postup určenia nivelety je rovnaký ako pri určovaní polohovej odchýlky ale pohybuje sa vo zvislom smere, kedy sa zamerajú dva body na povrchu valca a to na strane obsluhy a pohonu. Body musia mať približne rovnakú X súradnicu a diferenciu Z súradníc nám udáva výškovú odchýlku  $\Delta Z$ .

### 3.1.4 Princíp metódy opásania a metódy olovnice

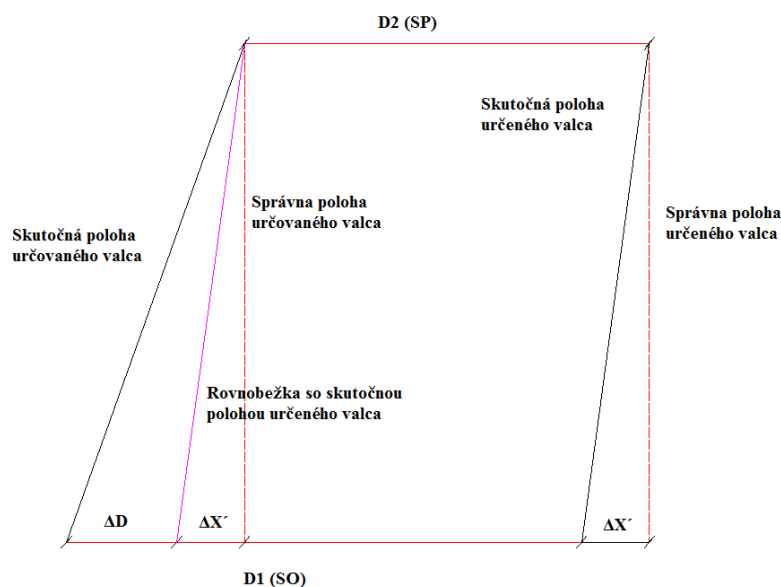
Papierenský stroj sa skladá z veľkého množstva valcov a nie všetky valce sú dostatočne prístupné, tak aby bola možnosť merať ich geometriu pomocou geodetických metód. Všade tam, kde nie sú valce prístupné sa využíva práve metóda opásania alebo metóda olovnice.

Metóda opásania pásmom spočíva v meraní dĺžok medzi dvoma valcami a to na strane obsluhy a na strane pohonu. Jediná podmienka tejto metódy, že jeden z valcov musí mať určenú polohovú odchýlku  $\Delta X$  pomocou geodetickej metódy. Pokiaľ je táto podmienka splnená, odmeria sa dĺžka medzi valcami na strane obsluhy a na strane pohonu. Názov metóda opásania je v podstate doslovná pásma sa natiahne okolo oboch valcov a meriame tak dvojnásobnú dĺžku, preto je potrebné pre správny výpočet namerané dĺžky podeliť dvoma. Potom na základe odmeraných dĺžok a známej polohovej odchýlky  $\Delta X$  jedného z valcov určíme polohovú odchýlku  $\Delta X$  určovaného valca podľa vzorca:

$$\Delta X = \Delta D \pm \Delta X', \quad (2)$$

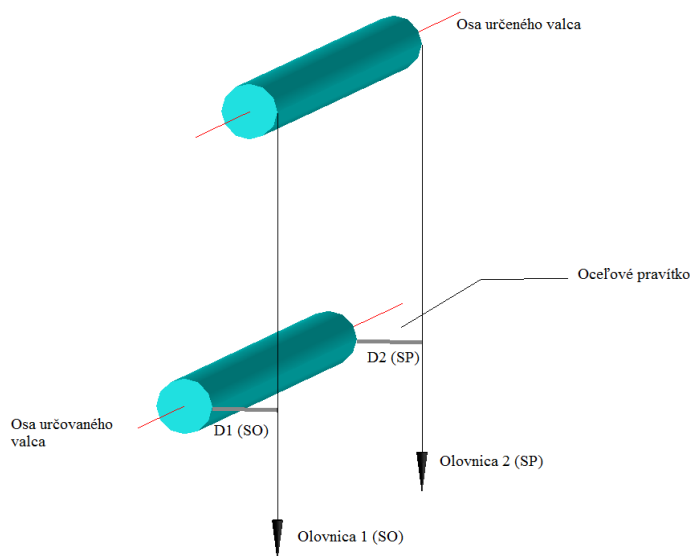
kde  $\Delta D$  je rozdiel medzi meranými dĺžkami ( $D_1$  a  $D_2$ ),

$\Delta X'$  - známa polohová odchýlka.



Obrázok č.11 Princíp metódy opásania

Metóda olovnice sa taktiež používa v neprístupných miestach, s tým rozdielom že jednotlivé valce sú nad sebou. S toho vrchný valec musí mať určenú polohovú odchýlku. Metóda spočíva v meraní dĺžky medzi určovaným valcom a spustenej olovnice, ktorá je zavesená na valci zo známou polohovou odchýlkou. Polohová odchýlka je určená zameraním dĺžky na strane obsluhy a na strane pohonu a vypočítam podľa vzorca (2).



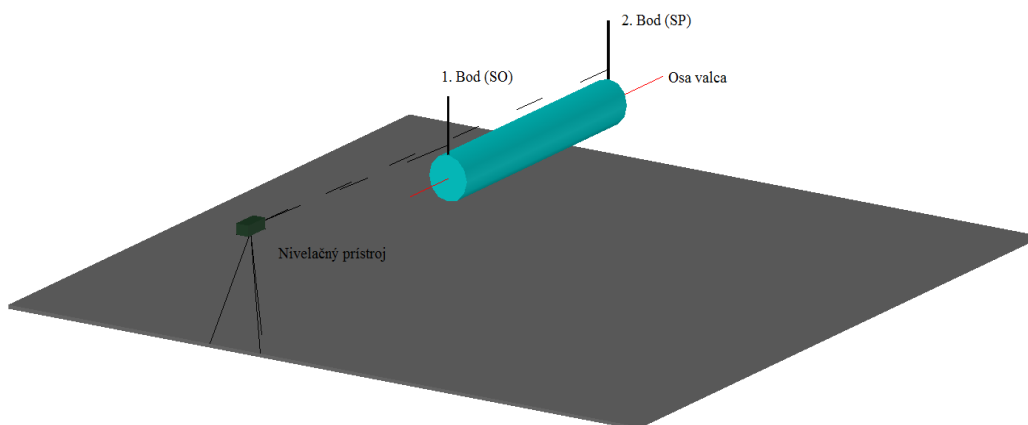
Obrázok č.12 Princíp metódy olovnice

Metóda opásania a metóda olovnice nie sú také presné metódy ako sú metódy DOM alebo Change station ale pri správnom meraní dĺžok dosahujú presnosti 1,5 až 2 (mm). Väčšinou

sú neprístupné vodiace valce, kde sa tolerancia polohy pohybuje okolo 1 (mm), kedy tieto metódy spĺňajú požiadavky na presnosť.

### 3.1.5 Princíp určenia nivelety (geometrická nivelácia)

Geometrická nivelácia pre určenie nivelety valca sa používa pri určovaní výškových odchýliek, tam kde nie je potrebné určovať polohové odchýlky valcov. Metóda spočíva, tak ako v klasickej geodézii, určiť prevýšenie (výškový rozdiel) medzi dvoma meranými bodmi. Zásadní rozdiel je ten, že pri určovaní nivelety valcov papierenského stroja sa pohybujú výpočty len v relatívnych hodnotách a nepoužívajú sa nivelačné laty ale špeciálne pravítka (viz. 3.2 Východiská a prístrojové vybavenie). Nivelačný prístroj sa postaví na strane obsluhy papierenského stroja a to približne na osu meraného valca. Po zhorizontovaní nivelačného prístroja sa vytvorí vodorovná rovina a odčítajú sa hodnoty na oceľovom pravítku na strane obsluhy a na strane pohonu. Rozdiel medzi hodnotami nám udáva výškový odchýlku osy valca. Celá situácia je zobrazená na Obrázku č.13.



Obrázok č.13 Princíp určenia nivelety (geometrická nivelácia)

### 3.2 Východiská a prístrojové vybavenie

V priemyselnej geodézii a konkrétne pri meraní geometrie jednotlivých častí papierenského stroja sa používajú špeciálne pomôcky (odrazné hranoly, pravítka, magnetické podstavce, pevné statívy) a prístroje (Leica TDA 5005), ako východiská sa nepoužívajú, tak ako v klasickej geodézii body polohových a výškových bodových polí, ale používajú sa mikrosiete (lokálna sieť bodov), alebo už spomínaná center line, ktorá

služi ako geometrický základ pre meranie, vytyčovanie alebo ustavovanie jednotlivých častí papírenských strojov.

### 3.2.1 Mikrosieť a stabilizácia bodov

Dĺžky strán mikrosiete bývajú pomerne malé, pretože sa mikrosieť vzťahuje ku meranému objektu, konkrétne papírenskému stroju môže pokrývať plochu napríklad 80 x 20 m. Rozmiestnenie jednotlivých bodov je potom závislé na veľkosti papírenského stroja a jeho členitosti. Pri meraní papírenských strojov sa body umiestňujú predovšetkým na strane obsluhy z dôvodu, že celé meranie prebieha na strane obsluhy, pretože na strane pohonu sú papírenské stroje vo väčšina prípadov neprístupné. V prípade kedy je východiskom center line sú body taktiež umiestnené na strane obsluhy.

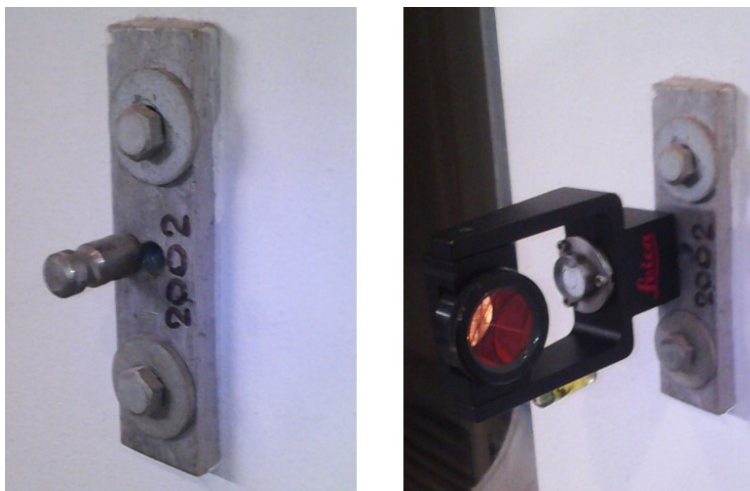
Stabilizácia jednotlivých bodov mikrosiete alebo center line je odlišná ako v klasickej geodézii. Stabilizácia bodov môže byť dočasná alebo trvalá. Pre dočasnú stabilizáciu sa využívajú magnetické podstavce (Obrázok č.14). Dočasná stabilizácia sa používa pri jednorazových meraniach (metóda Change station), kedy nie je potrebné body trvalo stabilizovať a meranie tak opakovať, alebo tam kde potrebujeme ďalšie body potrebné pre orientáciu (pomocné body). V praxi sa často stáva, že mikrosieť nie je dostatočne vybudovaná a nie zo všetkých stanovísk je vidieť dostatočný počet bodov pre orientáciu a preto sa využívajú pomocné body s dočasnou stabilizáciou.



Obrázok č.14 Dočasná stabilizácia bodov

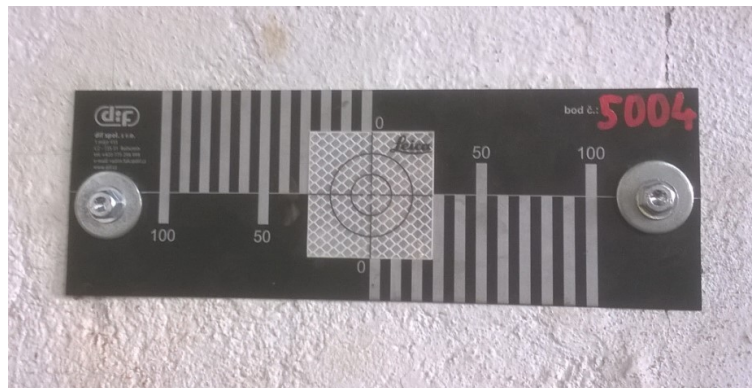
Trvalá stabilizácia bodov sa používa častejšie z dôvodu, že technická diagnostika papírenských strojov a ich častí sa v súčasnosti pravidelne opakuje. Geodet nemusí tak

pred každým meraním rozmiestovať body s dočasnou stabilizáciou. Pre trvalú stabilizáciu sa využívajú kovové čapy navŕtané priamo do stien, tak aby jednotlivé body boli pevné a nebolo možné s nimi pohnúť. Pri samotnom meraní sa potom na čapy pripnú odrazné hranoly (Obrázok č.15).

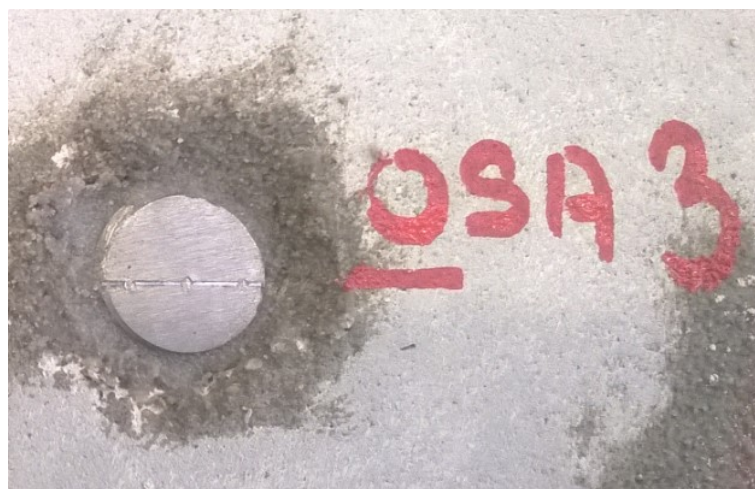


Obrázok č.15 Trvalá stabilizácia bodov

Odsunutá center line papierenského stroja na strane obsluhy sa vždy stabilizuje trvalo. Stabilizácia center line sa skladá z dvoch hlavných bodov na strane nátoky a na strane navíjačky tak ako bolo povedané v kapitole vyššie a z ďalších niekoľko zaisťovacích bodov v podlahe. Na stabilizáciu hlavných bodov center line sa používajú kovové čapy (Obrázok č.15) alebo kovové dosky, na ktoré sú nalepené odrazné fólie. V tomto prípade sa častejšie využívajú kovové dosky, na ktoré sú nalepené odrazné fólie, pretože hlavné body sú vždy umiestené vysoko na stenách tak aby boli dostatočne viditeľné. Prikladanie odrazných hranolov pri každom meraní by bolo nepraktické. Okrem hlavných bodov sa umiestňujú zaisťovacie značky do podlahy pre prípad, že hlavné body by boli zničené. Zaisťovacie značky sú kovové plné trubky zabetónované do podlahy, na ktorých je vyrytí kríž.



Obrázok č.16 Stabilizácia hlavných bodov center line



Obrázok č.17 Zaistovacie značky center line

### 3.2.2 Pomôcky pre meranie geometrie PS

Pri samotnom meraní geometrie valcov papierenského stroja, kedy je potrebné zamerať body priamo na valci je potrebné používať pomôcky, ktoré sú na to prispôbené a spoľahlivé pre správne výsledky merania. Takéto pomôcky sú spomínané magnetické podstavce (Obrázok č.14) alebo tzv. prizmy (Obrázok č.18), ktoré dokonale kopírujú povrch valcov. Na tieto špeciálne pomôcky sa pri meraní pripnú odrazné hranoly alebo pri meraní niveláciou oceľové pravítka.





Obrázok č.18 Prizma

V priemyselnej geodézii a konkrétne pri meraní geometrie papírenských strojov sa využívajú presnejšie odrazné hranoly. Na Obrázku č.15 v pravo je zobrazený mini hranol, ktorý je možné sklápať a otáčať okolo svojej osy, čo je pri samotnom meraní veľmi dôležité, pretože hranol môžeme nastaviť do akejkoľvek požadovanej polohy, bez toho aby vznikla chyba v centrácii odrazného hranolu väčšia ako 0,1 mm. Tak ako je zobrazené na Obrázkoch 14 a 15, môžeme mini hranoly pripevniť priamo na kovové čapy, magnetické podstavce alebo prizmy.

Pri meraní niveláciou sa používajú špeciálne ocelové pravítka s 0,5 mm delením (Obrázok č.18 v pravo), ktoré dosahujú celkovú dĺžku do 500 mm a často krát kvôli obmedzenému priestoru len 200 mm. Je treba povedať, že v neprístupných miestach kde sa nedá využiť metóda nivelácie sa používajú k určeniu nivelety strojné vodováhy, ktoré majú presnosť  $0,01 \div 0,2 \text{ mm}/100 \text{ mm}$ .

Ku správnej stabilite prístroja sa používajú statívy, ktoré majú masívnejšiu konštrukciu. Statívy majú aretačné svorky nôh ku stredovej tyči, ktoré zabezpečujú aby sa nohy statívu nepodklzli a následne sa tak nepohol prístroj. Klasické statívy, ktoré sa využívajú v klasickej geodézii sú nepraktické, pretože v halách kde meranie prebieha sú podlahy väčšinou z liateho betónu, ktorý má klzký povrch.





Obrázok č.19 Statív pre meranie v priemysle

### 3.2.3 Prístrojové vybavenie

Leica TDA5005 podľa [2], patrí medzi najpresnejšie totálne stanice a kvôli tomu sa používa pri geodetických meraniach v priemysle a konkrétne pri meraní geometrie papierenských strojov. Jej vzhľad napovedá, že sa jedná o veľmi špecifický prístroj. Pre presné merania sa vždy používali robustné geodetické prístroje a tak ako na Obrázku č.20, ani tento nie je výnimkou. Špecifickým rozdielom oproti iným geodetickým prístrojom je, že ustanovky nie sú súčasťou jeho alhidády, ale sú vyvedené von a je možné s nimi otáčať nezávisle. Okrem toho využíva systém ATR, čo veľmi pomáha a urýchľuje geodetovi pri meraní prácu, pretože viditeľnosť vo vnútri papierenského stroja je niekedy nulová a bez osvetlenia nie je možné zacieliť na meraný bod. Táto totálna stanica sa vyznačuje svojou presnosťou, meranie uhlov s presnosťou 0,1 mgon a dĺžky merané s presnosťou 0,2 mm pri meraní s použitím kútového odrážneho hranolu do 120 m.

Software tejto totálnej stanice umožňuje z nameraných hodnôt priamo vypočítať 3D súradnice a odpadá tak spracovanie nameraných dát, ako u klasickej geodézie. Tak ako je na obrázku 10, software okamžite vypočíta 3D súradnice a diferencie súradníc medzi jednotlivými zameranými bodmi na valci. Geodet tak môže po zameraní bodov okamžite povedať výsledné odchýlky uloženia valca voči správnej polohe.



Obrázok č.20 Leica TDA5005

Presnosť Hz,V (Smerodatná odchýlka podľa [14])	Presnosť EDM (Smerodatná odchýlka podľa [15])	Rozsah merania (kútový odrazný hranol)	Rozsah merania ( odrazné fólie)
0,5'' (0,15 mgon)	1mm+2ppm	2 - 600 m	2- 180 m

Tabuľka č. 3 Technické parametre Leica TDA 5005

### 3.2.4 Súradnicový systém stanice (SCS)

Poloha cieľového bodu objektu sa meria v polárnych súradniciach, tzn.

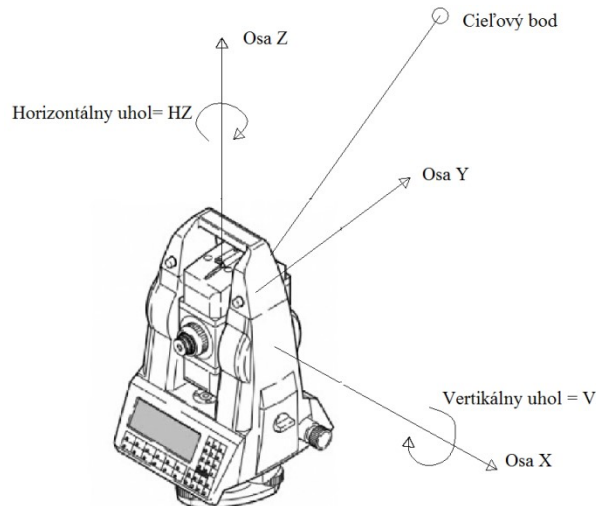
- radiálna šikmá dĺžka od stanice k cieľovému bodu,
- horizontálny uhol daný horizontálnym kruhom,
- vertikálny uhol daný vertikálnym kruhom.

Výsledky sú potom vypočítané a zobrazené v kartézskom súradnicovom systéme (X,Y,Z), ktorý je nazvaný súradnicovým systémom stanice (SCS).

Kartézsky súradnicový systém je podľa [1], definovaný vzhľadom ku trom vzájomne kolmým rovinám referenčného súradnicového systému. Tieto roviny sa pretínajú v bode zvanom počiatok, ktorým prechádzajú tri vzájomné kolmé roviny (X,Y,Z), ku ktorým sú vzťahnuté súradnicové zložky. Potom je priestorová poloha cieľového bodu daná

vzhľadom k počiatku usporiadanou trojicou hodnôt  $(x,y,z)$  meraných pozdĺž vzájomne kolmých os.

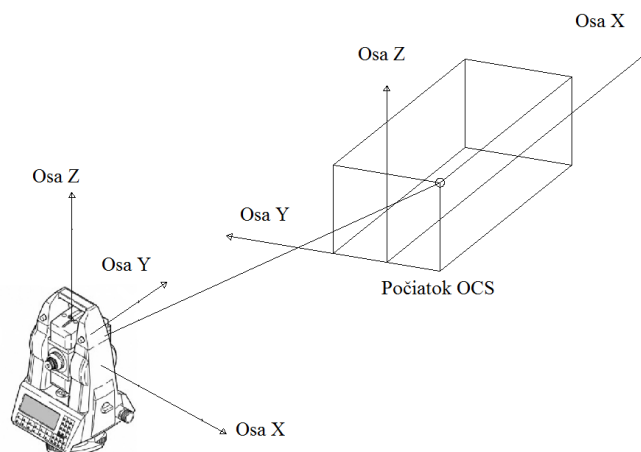
Počiatok SCS je umiestnený do stredu snímača v priesečníku optickej osy (zámernej priamky), vertikálnej osy (osa Z) a točnej osy ďalekohľadu.



Obrázok č.21 Súradnicový systém stanice (SCS) [1]

### 3.2.5 Súradnicový systém objektu a stanice (OCS a SCS)

Súradnicový systém objektu (OCS) je trojrozmerný súradnicový systém, v ktorom je vyjadrená geometria objektu. Objekt je spravidla navrhnutý v Cad systéme, ktorý obsahuje projektované hodnoty 3D súradníc v OCS.



Obrázok č.22 Vzťah medzi súradnicovým systémom stanice (SCS) a objektu (OCS) [1]

Počiatok súradnicového systému stanice, tak ako bolo povedané vyššie je umiestnený v strede totálnej stanice. Metódy orientácie ( DOM a Change station) orientujú totálnu stanicu do OCS, tak že výsledky merania sú vyjadrené v OCS, čo umožňuje okamžité porovnanie skutočných a projektovaných hodnôt.

### **3.2.6 Zásady presného merania**

Pre dodržanie požadovanej presnosti musíme dodržiavať radu pravidiel, tak aby výsledné hodnoty boli spoľahlivé a dosahovali požadovanú presnosť. Leica TDA5005 je veľmi presná totálna stanica, ale pre dosiahnutie presnosti musíme dodržiavať tieto zásady:

- po príchode na miesto merania nechať totálnu stanicu temperovať na teplotu, ktorá na mieste merania je,
- zavádzať do merania opravu z teploty, tlaku, vlhkosti, ktoré sú namerané priamo pred meraním,
- používať pevné statívy,
- používať presné odrazné hranoly s určenými konštantami,
- urovnávať prístroj s presnosťou 0,01 gon, pretože kompenzátor koriguje len uhlové meranie, nie dĺžkové,
- pri meraní v jednej polohe ďalekohľadu je nutné pravidelne kontrolovať a odstraňovať najdôležitejšie prístrojové chyby, ako je indexová a kolimačná chyba.

### **3.3 Spracovanie výsledkov**

Spracovanie výsledkov pozostáva v zhotovení protokolu o vykonaných prácach. Samotné výsledky merania sa zapisujú do zápisníka, kedy sa hodnotám pridelujú znamienka + alebo -, tak ako bolo písané v kapitole 3.1.3. Výsledné hodnoty sa potom udávajú do protokolu, ktorý musí obsahovať:

- údaje o zákazke, zhotoviteľ, meračských pomôckach, podmienok pre meranie a dátum,

- údaj o meranom papierenskom stroji alebo jeho časti, jeho stav a nedostatky stroja pred zahájením merania,
- požiadavky zadávateľa na druh meračskej práce, požiadavky na presnosť,
- namerané dáta, hodnoty merania pred ustavením, rozmerové vzťahy ohľadom pomocnej center line, grafické znázornenie meraných veličín,
- závery- ohodnotenie kvality a presnosti merania, odporúčenie o prípadných nedostatkoch a nasledujúcich opravách.

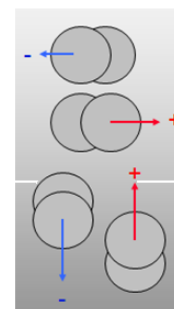
Protokol musí byť po jeho vyhotovení odovzdaný technikovi, ktorý zodpovedá za predmetný stroj.

Pre vzájomnú komunikáciu a určitú kompatibilitu výsledných hodnôt je potrebné dodržiavať rovnakú interpretáciu výsledkov. Dôležitá je znamienková konvencia a značenie smeru odchýlky. Pre interpretáciu výsledkov sa vždy používa vzťah strany obsluhy a strany pohonu. Na Obrázku č.23 môžeme vidieť interpretáciu výsledkov, kde je jasne vysvetlené, ktoré znamienko čo znamená a samotné výsledky merania, kde sú farbou vyznačené doporučené opravy podľa Tabuľky č.2.

$\Delta X = SP-SO$	Poloha		
$\Delta X < 0-$	SO je umiestená oproti SP v ľavo		←
$\Delta X > 0+$	SO je umiestená oproti SP v pravo		→
$\Delta Z = SP-SO$	Výška		
$\Delta Z < 0-$	SO je umiestnená oproti SP nižšie		↓
$\Delta Z > 0+$	SO je umiestnená oproti SP vyššie		↑

Pred ustavením							
Označení sekce	Číslo válce	Polohová odch.	Směr	Výšková odch.	Směr	Datum	Poznámka
1		-0,7	←	1,1	↑	10.01.2013	
1A		6,1	→	3,3	↑	10.01.2013	
2		-2,5	←	-1,1	↓	10.01.2013	
3		-3,5	←	3,8	↑	10.01.2013	
3A		-1,1	←	0,3	↑	10.01.2013	
4		6,2	→	0,2	↑	10.01.2013	



Obrázok č.23 Interpretácia výsledkov

## 4. Analýza presnosti merania

Pre meranie geometrie papierenských strojů a jeho častí sa využíva metóda DOM alebo Change station, ktoré pre určenie polohy bodu a jeho súradníc využívajú priestorovú polárnu metódu.

V prvom rade je potreba rozobrať polohovú zložku a potom výškovú podľa [9]. Pre výpočet súradníc Y a X určovaného bodu P pomocou polárnej metódy sa používa základná rovnica:

$$Y_P = Y_A + D_{AP} \cdot \sin(\sigma_{AP} + \alpha), \quad (3)$$

$$X_P = X_A + D_{AP} \cdot \cos(\sigma_{AP} + \alpha),$$

kde sú

$X_A, Y_A$	- súradnice bodu A (bod s ktorého vychádzame),
$D_{A,P}$	- vodorovná dĺžka strany AP,
$\sigma_{AP}$	- smerník strany AP,
$\alpha$	- polárny uhol.

Smerodatné odchýlky bodu P v súradniciach X a Y sú vyjadrené pomocou vzorcov:

$$\sigma_{YP} = \sqrt{(\sigma_d \cdot \sin \sigma_{AP})^2 + (D_{AP} \cdot \cos \sigma_{AP} \cdot \frac{\sigma_\alpha}{\rho})^2}, \quad (4)$$

$$\sigma_{XP} = \sqrt{(\sigma_d \cdot \cos \sigma_{AP})^2 + (D_{AP} \cdot \sin \sigma_{AP} \cdot \frac{\sigma_\alpha}{\rho})^2}.$$

kde

$\sigma_d$	je smerodatná odchýlka merané vodorovné dĺžky d,
$\sigma_\alpha$	- smerodatná odchýlka polárneho uhlu $\alpha$ ,
$\rho$	- hodnota radiánov v gonoch (63 6620).

Smerodatná súradnicová odchýlka bodu P je podľa vzorca:

$$\sigma_{X,Yp} = \sqrt{\frac{\sigma_{Xp}^2 + \sigma_{Yp}^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_d^2 + D_{AP}^2 \cdot \frac{\sigma_\alpha^2}{\rho^2})}. \quad (5)$$

Avšak pri meraní geometrie papírenských strojů sa pohybujeme v miestnom súradnicovom systéme a preto je potreba vzorce upraviť, tak aby odpovedali miestnemu súradnicovému systému. Vzorce pre smerodátne odchýlky v súradnici X a Y boli upravené takto:

$$\sigma_{YP} = \sqrt{(\sigma_d \cdot \cos\sigma_{AP})^2 + (D_{AP} \cdot \sin\sigma_{AP} \cdot \frac{\sigma_\alpha}{\rho})^2}, \quad (6)$$

$$\sigma_{XP} = \sqrt{(\sigma_d \cdot \sin\sigma_{AP})^2 + (D_{AP} \cdot \cos\sigma_{AP} \cdot \frac{\sigma_\alpha}{\rho})^2}.$$

V Tabuľke č.4 sú vypočítané smerodátne súradnicové odchýlky pre dĺžky 2-6, 10-15 m, pri použití totálnej stanice Leica TDA5005, kedy do vzorcov dosadíme technické parametre prístroja podľa Tabuľky č.3 a smerník 300<sup>g</sup>.

Dĺžka [m]	$\sigma_{YP}$ [mm]	$\sigma_{XP}$ [mm]	$\sigma_{XY,P}$ [mm]
2	0,150	0,260	0,212
3	0,150	0,260	0,212
4	0,150	0,260	0,212
5	0,150	0,260	0,212
6	0,150	0,260	0,212
10	0,150	0,260	0,212
11	0,150	0,260	0,212
12	0,150	0,260	0,212
13	0,150	0,260	0,212
14	0,150	0,260	0,212
15	0,150	0,260	0,212

Tabuľka č.4 Výpočet smerodátných odchýliek

Pre výpočet boli zvolené dĺžky 2-6, 10-15 m a to z dôvodu, že pri meraní geometrie papírenských strojů a konkrétne meraní geometrie valcov meraná dĺžka väčšinou nepresahuje hranicu 15 metrov. Po výpočte bolo zistené, tak ako môžeme vidieť v Tabuľke č.4, že smerodátne odchýlky sa v závislosti na meranej dĺžke nemenia. Ďalej bol pre výpočet zvolený smerník 300<sup>g</sup> a to z dôvodu, že vždy geometriu valcov meriame  $\pm$  na kolmici. Najväčšia smerodátna odchýlka je  $\sigma_{XP}$  a to 0,3 mm. Pri meraní geometrie papírenských strojů a konkrétne pri určovaní polohových odchýliek je najdôležitejšia

smerodatná odchýlka  $\sigma_{XP}$ , pretože polohové odchýlky  $\Delta X$  sa určujú z nameraných  $X$  súradníc jednotlivých bodov.

Na základe požadovanej presnosti v Tabuľke č.2, kde je najvyššia požadovaná presnosť pri ustavení lisovacích valcov 0,3 mm a na základe spočítanej smerodatnej odchýlky  $\sigma_{XP}$ , ktorá je 0,3 mm môžeme povedať že Leica TDA5005 spĺňa požadovanú presnosť pre meranie a ustavenie podľa Tabuľky č.2.

Pretože sú výšky určované trigonometricky je potreba spočítať presnosť aj tejto metódy. Výška bodu P sa vypočíta zo vzorca:

$$H_P = H_A + V_{pr} \pm h - V_C + q, \quad (7)$$

kde:

$H_A$  je výška základného bodu A,

$V_{pr}$  - výška prístroja,

$h$  - prevýšenie medzi точnou osou ďalekohľadu a cieľovou značkou,

$V_C$  - výška cieľovej značky,

$q$  - vplyv zakrivenia Zeme a zvislej zložky refrakcie.

Prevýšenie  $h$  sa vypočíta zo vzorca:

$$h = d_s \cdot \cos Z, \quad (8)$$

kde:

$d_s$  je meraná šikmá dĺžka,

$Z$  - meraný zenitový uhol.

Vplyv zakrivenia Zeme a vplyv zvislej zložky refrakcie sa vypočíta z rovnice:

$$q = d_0^2 \cdot \left( \frac{1-k}{2R} \right), \quad (9)$$

kde:

$d_0$  je vodorovná vzdialenosť medzi bodmi  $A_0, P_0$ ,

$R$  - polomer náhradnej gule (pre danú zemepisnú šírku a zvolený elipsoid),



k - stredná hodnota refrakčného koeficientu.

Pri vzdialenosti do 100 m je možné opraviť zenitový uhol o hodnotu  $o_Z$  (v mgon):

$$o_Z \approx \frac{-d_0}{200}, \quad (10)$$

čím je pre meranie v priemysle vyriešená oprava zo zakrivenia Zeme.

Smerodatná odchýlka pre trigonometrické určenie výšky bodu P sa teda spočíta podľa vzorca:

$$\sigma_{HP} = \sqrt{\sigma_{HA}^2 + \sigma_{ds}^2 + \cos^2 Z + (d_s \cdot \sin Z \cdot \frac{\sigma_Z}{\rho})^2 + \sigma_{vpr}^2 + \sigma_{vc}^2 + \sigma_q^2}, \quad (11)$$

kde:

$\sigma_{ds}$  je smerodatná odchýlka meranej šikmej dĺžky  $d_s$ ,

$\sigma_{HA}$  - smerodatná odchýlka určenia výšky základného bodu,

$\sigma_Z$  - smerodatná odchýlka meraného zenitového uhlu  $Z$ ,

$\sigma_{vpr}$  - smerodatná odchýlka meranej výšky prístroja,

$\sigma_{vc}$  - smerodatná odchýlka komparace výšky cieľovej značky,

$\sigma_q$  - smerodatná odchýlka refrakcie.

Pri meraní geometrie papierenských strojov používame prechodné stanovisko a pohybujeme sa v relatívnych hodnotách. Z čoho vyplýva, že vzorec môžeme zjednodušiť a to tak, že na základe použitia prechodného stanoviska môžeme zo vzorca vylúčiť  $\sigma_{HA}$ ,  $\sigma_{vpr}$ , ďalej na základe výpočtov, ktoré sa pohybujú v relatívnych hodnotách môžeme vylúčiť  $\sigma_{vc}$ , potom smerodatná odchýlka pre trigonometrické určenie výšky po úprave bude vyzerat' takto:

$$\sigma_{HP} = \sqrt{\sigma_{ds}^2 + \cos^2 Z + (d_s \cdot \sin Z \cdot \frac{\sigma_Z}{\rho})^2 + \sigma_q^2}, \quad (12)$$

## 5. Zameranie geometrie PS7 Mondi Štětí

Spoločnosť Mondi Štětí a.s. je podľa [8], popredným svetovým výrobcom papierových materiálov, papiera a buničiny.

Počiatky papierenského priemyslu v Štětí (Obrázok č.24) siahajú do roku 1949, kedy sa začala výstavba pôvodnej papierne Sepap. V nasledujúcich desaťročiach sa názov a vlastník papierne zmenil niekoľkokrát. Po kupónovej privatizácii získala továreň v celom jej rozsahu rakúska spoločnosť Frantschach group. Vďaka významným investíciám do zvýšenia kapacít a zlepšenie kvality výrobkov Mondi Štětí a.s. je najväčším výrobcou papierových obalov a buničiny na českom trhu.



Obrázok č.24 Areál Mondi Štětí [8]

### 5.1 Podstata a účel merania geometrie PS7

Podstata úlohy spočívala v meraní geometrie papierenského stroja PS7. Meranie sa skladalo z merania polohy a výšky.

Meraním polohy sa rozumie, meranie odchýlky rovnobežnosti valcov, teda odchýlky kolmosti od center line PS. Merané vo vodorovnej rovine. Meraním výšky sa rozumie, stanovenie odchýliek valcov od vodorovnej roviny. Merané v smere tiaže.

Účelom merania bolo odstrániť nedostatky a chyby, ktoré boli zistené pri meraní v roku 2014. Tieto chyby PS7 mali byť odstránené za účelom zvýšiť výkon PS7 a spoľahlivosť pre ďalšiu výrobu papiera. PS7 môžeme, tak ako v kapitole 2.2 rozdeliť na mokrá a suchú časť. Kedy mokrá, teda sitová časť sa skladá zo sacích skriň, Top Formeru,

prsných valcov, lisovacích valcov. Suchá časť sa skladá z 9 sušiacich sekcií a navíjacej časti.

Konkrétne meranie geometrie PS7 malo spočívať v meraní a ustavovaní cylindrov a vodiacich valcov v sušiackej sekcii papierenského stroja. Ďalej mali byť ustavené sacie skrine, ktoré sa nachádzajú v sitovej časti papierenského stroja a valce Top Formeru.

Vodiace valce, cylindre a valce Top Formeru mali byť ustavené polohovo aj výškovo, sacie skrine mali byť ustavené výškovo. Povolené odchýlky ustavenia sa mali riadiť hodnotami, ktoré sú uvedené v Tabuľke č.2.

## 5.2 Prípravné práce

Prípravné práce spočívali predovšetkým v naplánovaní časových intervaloch, kedy a ktorá časť papierenského stroja sa bude ustavovať. Táto úloha bola veľmi náročná, pretože spomínaná sušiacia časť PS7 sa skladá približne zo 150 valcov, ďalej sitová časť sa skladá zo 14 sacích skrií a 6 valcov v Top Formeri a ďalších prsných a lisovacích valcov. Keďže na dané práce bol presne vyhradený čas, čo bolo približne 7 dní, stanovili sa hlavné priority, ktoré bolo potrebné urobiť ako prvé a ďalej nasledovali, ktoré boli menej dôležité pre zadávateľa prác.

Hlavnou prioritou bolo ustaviť sušiacu časť PS7 a to z dôvodu veľkého počtu valcov, ktoré sú na ustavenie veľmi časovo náročné ale aj z dôvodu, že všetky valce v sušiackej sekcii sú dôležité pre plynulý chod papierenského stroja. Druhou prioritou bolo ustavenie 14-tich sacích skrií, ktoré slúžia k odsávaniu vody z papieroviny. Sacie skrine sa mali ustaviť len výškovo a to z dôvodu, že nalievaná papierovina na sito, ktoré prechádza práve cez sacie skrine, musí byť rovnomerne rozliata po celej šírke, tak aby vznikol dokonalý nekonečný papierový list, ktorý ďalej pokračuje cez lisovacie valce do sušiackej sekcii. Poslednou prioritou bolo ustaviť 6 valcov v Top Formeri, ktoré sú umiestnené s časti nad sacími skriami.

Bolo potrebné urobiť rekognoskáciu, určiť metódu merania a určiť pomôcky, ktoré sa budú pri meraní používať. Rekognoskácia terénu, tak ako v klasickej geodézii odpadá, pretože rekognoskácia sa vykonáva pomocou výkresovej dokumentácie PS7, ktorú poskytuje zadávateľ prác (viz. Príloha č.2). Keďže technická diagnostika sa na PS7

vykonáva pravidelne, tak má samozrejme určenú a odsunutú center line, ktorá je východiskom pre všetky merania, ktoré sa vykonávajú pri ustavení toho to papierenského stroja.

Pre meranie polohy a výšky bola použitá totálna stanica Leica TDA5005 a pre meranie výšok tam, kde nebolo potrebné určovať polohu alebo poloha bola určená, bol pre určenie výšky použitý nivelačný prístroj Wild N3.

Tak ako bolo povedané v kapitole 3.1 pri meraní, kedy je východiskom center line sa používa metóda Direct orientation method a pri meraní samotných výšok geometrická nivelácia, ktoré boli použité aj v tomto prípade. Pomôcky pre meranie boli určené, tak ako sú opísané v kapitole 3.2.2 (prizmy, magnetické podstavce, oceľové pravítka, odrazné mini hranoly).

### **5.3 Zameranie geometrie PS7**

Zameranie geometrie prebehlo tak ako bolo naplánované, ako prvé sa ustavovali cylindre a vodiace valce v sušiackej sekcii a to konkrétne v 6 - 9 sušiackej sekcii (viz. Príloha 1). Jednalo sa o ustavenie približne 60 valcov.

Prioritou tejto časti ustavenia bolo ustaviť cylindre, ktoré boli na strane obsluhy vyššie. Táto úloha bola časovo najnáročnejšia pretože sa museli demontovať základové dosky pod ložiskovými domkami, ktoré sa frézovali pre zníženie polohy cylindrov na strane obsluhy. Pri niektorých valcoch boli dokonca základové dosky prasknuté, čo pre správnu funkčnosť papierenského stroja je veľmi nepriaznivé a museli byť vymenené za nové. Po dokončení prác v 6-9 sušiacich sekcii boli ďalej ustavené valce v 4-5 sekcii (viz. Príloha č.1). Všetky namerané hodnoty a to sa myslí pred ustavením a po ustavení sa vždy zapisovali do zápisníkov (Obrázok č.25), ktoré sa následne spracúvajú pre odovzdanie zadávateľa prác.

Datum: 12.11.10 str: 2

Výška	Poloha základna	číslo	Poloha SO-SP	obr. poloha	Výška	číslo	Výška SO-SP	obr. výška	pozn.
D986	SP		-0,2	←	SP		+0,2	↑	
D472	SO		-0,5	←	SO		-0,1	+0,1↑	
D471	SP		-0,2	←	SP		+0,6	↑	
D351	SO		+0,4	→	SO		OK	→ -0,14	
D489	SP		+0,1	→	SP		+0,1	↑	
D437	SO		+0,7	→	SO		-0,4	↓	
D450	SP		+0,9	↔	SP		OK	-0,3↓	
D482	SO		REGUL. 5.11.11		SO				
D477	SP		-0,4	←	SP		OK	+0,2↑	
D475	SO		-0,5	←	SO		OK	-0-	
D476	SP		-0,5	←	SP		-0,6	↓	
D483	SO		-0,6	←	SO		-0,7	↓	
D431	SP		-0,3	←	SP		+0,3	↑	
D476	SO				SO		+0,5	↑	REGUL. 5.11.11
D473	SP				SP		+0,1	↑	REGUL. 5.11.11
D485	SO		+0,5	→	SO		-0,5		
45	SP		+0,3	→	SP		+0,3↑		
47	SO		+0,3	→	SO				
D637	SP		+2,5	→	SP				NET/NO
D626	SO		+3,6	→	SO				
D635	SP		+4,3	→	SP				
D473	SO		+0,2	→	SO		OK	↑ -0,56	
D674	SP		-0,3	←	SP		-0,5	↓	
34	SO		+2,1	→	SO				
35	SP		-2,6	←	SP				

Obrázok č.25 Zápisník z nameranými hodnotami a znamienkovou konvenciou

Ďalšou úlohou bolo zameranie a ustavenie sacích skriň v sitovej časti papierenského stroja. Po zameraní jednotlivých výšok sacích skriň bolo zistené, že sú absolútne zle ustavené a tomu napovedali veľmi veľké odchýlky medzi stranou pohonu a strany obsluhy, kde boli namerané odchýlky až 6,0 mm, čo pre dokonalé rozliate papieroviny je veľmi nepriaznivé. Najväčšie odchýlky boli namerané v časti, kde dochádza ku styku spodných sacích skriň a horného formeru. Pre ustavenie boli použité kotviace šraubky, ktoré umožňujú pohybovať so sacími skriňami hore alebo dole. Sacie skrine boli pomocou kotviacich šraub ustavené v naviazanosti na prsný valec a postupne ustavené vodorovne (viz. 5.4).

Poslednou úlohou bolo ustaviť 6 valcov Top Formeru, ktorý sa s časti nachádza nad sacími skriňami. Toto meranie bolo špecifické v tom, že jednotlivé valce sa nachádzajú vo väčšej výške ako sú napríklad cylindre alebo vodiace valce a preto je náročné umiestniť odrazný hranol na ne, (Obrázok č.26). Po zameraní jednotlivých valcov boli zistené veľké chyby geometrie týchto valcov, ktoré sa pohybovali až do 5,5 mm, čo znamená, že podľa Tabuľky č.2 boli v havarijnom stave (viz. 5.4).



Obrázok č.26 Meranie Top Formeru

#### 5.4 Vyhodnotenie nameraných dát

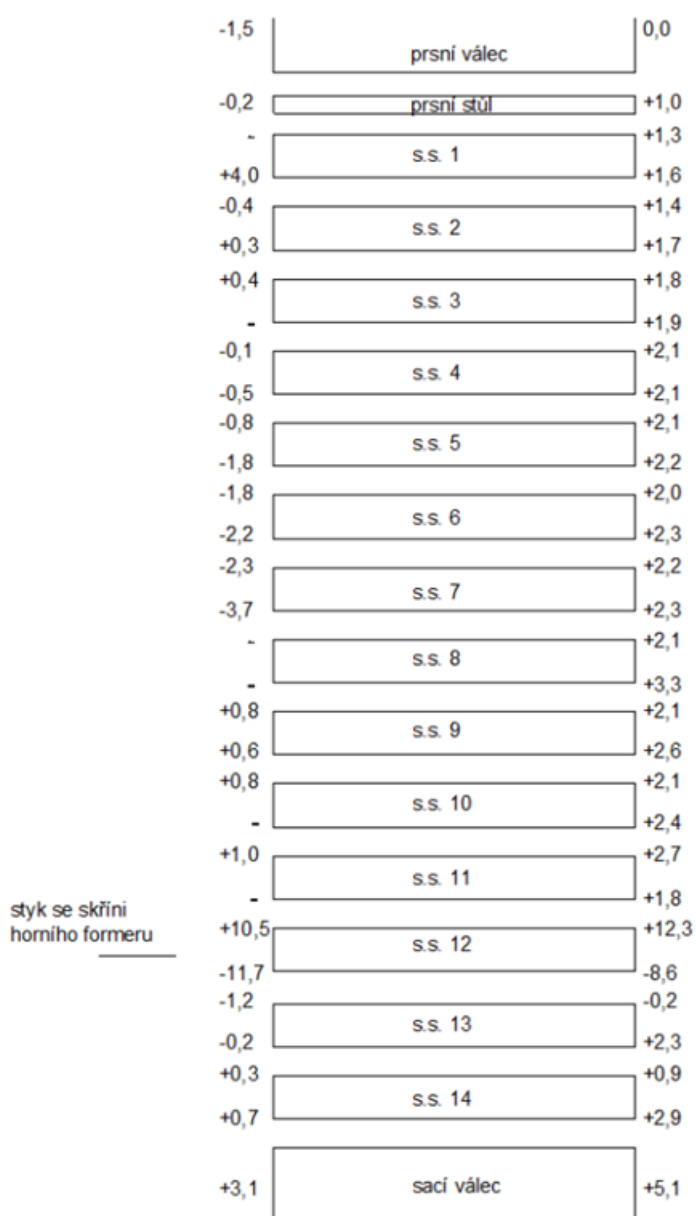
Tak ako bolo povedané v kapitole 5.3 všetky namerané údaje sa zapisujú do zápisníkov, ktoré sa potom spracúvajú a odovzdávajú sa zadávateľovi prác.

Vyhodnotenie všetkých zápisníkov spočíva v kompletizovaní všetkých nameraných hodnôt, (viz. Príloha č.1) a to pred ustavením a po ustavení jednotlivých valcov alebo častí papierenského stroja. V Prílohe č.1 je prehľad ustavenosti celej sušiackej sekcie, kde sú uvedené hodnoty odchýliek celej sekcie vrátane valcov, s ktorými nebolo pri technickej diagnostike v septembri 2015 manipulované. Príloha č.1 porovnáva hodnoty odchýliek zistených pri technickej diagnostike z roku 2014 s aktuálnymi hodnotami. Ďalej príloha obsahuje, označenie valcov podľa výkresovej dokumentácie (viz. Príloha č.2), dátum merania jednotlivých valcov a farebné zhodnotenie podľa Tabuľky č.2.

Výškovo boli ustavené všetky sacie skrine základnej vrstvy. Pred ustavením boli veľké výškové odchýlky v geometrii sacích skrií. Medzi stranou obsluhy a stranou pohonu boli odchýlky až 6 mm. Najviac problémová a neustavená bola časť v oblasti styku spodných sacích skrií a horného formeru.

Sacie skrine boli ustavené do vodorovné roviny. Súčasne bola dodržaná naviazanosť na prsní valec a sací valec spodného sita. Prsní valec nebol dobre výškovo ustavený, kedy

na strane obsluhy je o 1,5 mm vyššie - sacie skrine boli ustavené v naviazanosti na prsní valec a postupne ustavené vodorovne. Sací valec je na strane obsluhy o 2,0 mm vyššie a sacie skrine boli ustavené taktiež v naviazanosti na túto odchýlku od vodorovnej polohy. Hodnoty výšok jednotlivých prvkov sú vzťahnuté voči výške prsného valca na strane obsluhy. Na Obrázku č.27 sú výškové odchýlky pred ustavením.

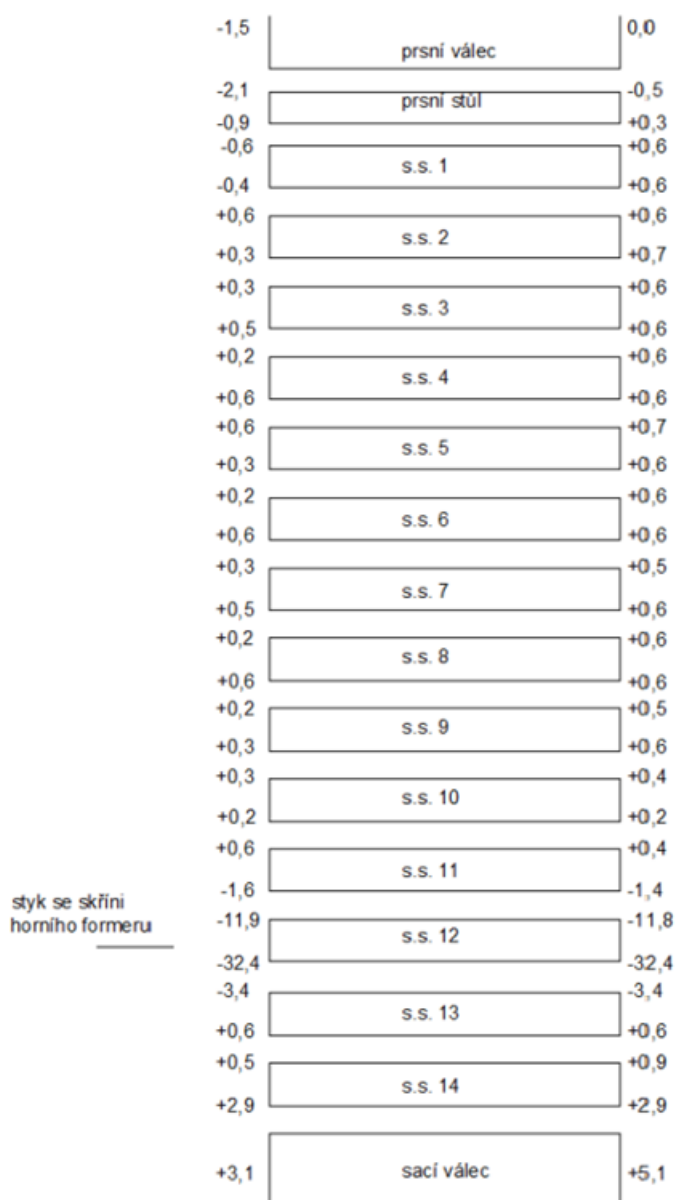


Obrázok č.27 Výškové odchýlky sacích skříň před ustavením

Predná hrana prsného stolu je nastavená o 0,5 mm nižšie vzhľadom k prsnému valcu z dôvodu správnej aplikácii papieroviny na sito základnej vrstvy. Sacie skrine č. 11 a 13 sú



profilované tak, aby bol plynulejší prechod vzhľadom k sacej skrini pod horným formerom, ktorá je nižšie o 12 mm na vstupe a 32 mm na výstupe (viz. Obrázok č.28).



Obrázok č.28 Výškové odchýlky sacích skříň po ustavení

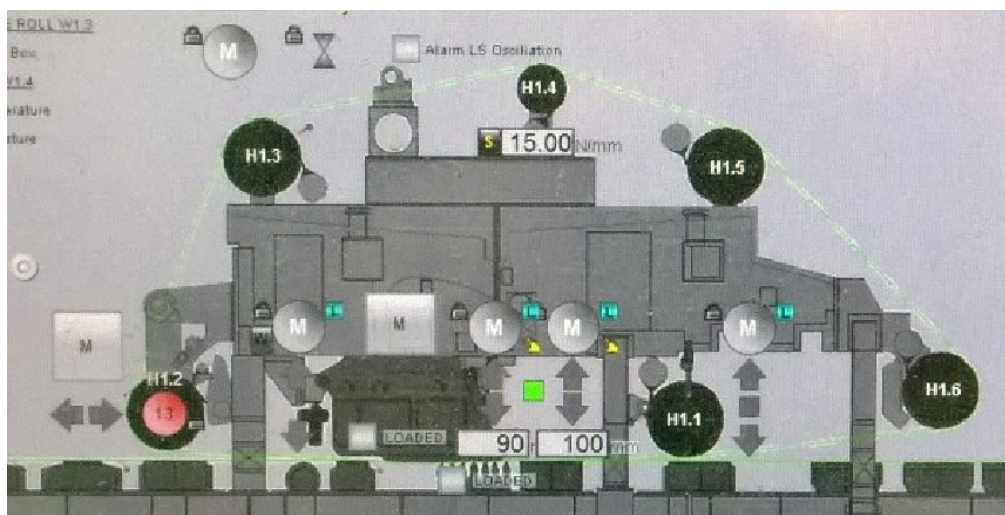
Poslednou úlohou bolo ustaviť valce Top Formeru papírenského stroja PS7. Pred ustavením boli chyby v geometri valcov výškové aj polohové. Najväčšiu polohovú odchýlku mal valec H.1.5 - 5,5 mm, čo podľa Tabuľky č.2 znamená, že valec je v havarijnom stave. Valce boli ustavené, výnimkou sú valce H.1.3 a H.1.6, ktoré



z konstrukčných dôvodov nebolo možné ustaviť polohovo ale len výškovo (viz. Tabuľka č.5).

MONDI Štetí - geometrie stroje PM7											
		stav před ustavením					stav po ustavení				
skupina	válec	poloha	směr	výška	směr	měřeno dne	poloha	směr	výška	směr	měřeno dne
<b>TOP FORMER</b>											
	H.1.1	-0,5	←	-0,4	↓	14. 4. 2015	-0,5		-0,4	↓	14. 4. 2015
	H.1.2	-0,7	←	0,5	↑	21. 7. 2015	-0,7	←	0,5	↑	21. 7. 2015
	H.1.3	2,0	→	-1,3	↓	11. 6. 2015	2,0	→	-0,2	↓	12. 10. 2015
	H.1.4	-		-1,5	↓	12. 10. 2015	-		-0,5	↓	12. 10. 2015
	H.1.5	5,5	→	2,0	↑	21. 7. 2015	0,6	→	0,5	↑	12. 10. 2015
	H.1.6	3,7	→	1,6	↑	21. 7. 2015	3,4	→	±0,0	↑	12. 10. 2015

Tabuľka č.5 Geometria valcov Top formeru stroja PS7



Obrázok č.29 Schéma meraných valcov Top Formeru

## 5.5 Zhodnotenie výsledkov a odporúčenie

V priebehu plánovanej odstávky papierenského stroja PS7 v Mondi Štetí bolo vykonané ustavenie cylindrov a vodiacich valcov v sušiackej sekcii stroja. V sitovej časti boli výškovo ustavené sacie skrine základnej vrstvy a horná sacia skriňa. Polohovo a výškovo boli ustavené valce Top Formeru. Technická diagnostika a konkrétne optické merania boli vykonané veľmi presnou totálnou stanicou Leica TDA5005 a nivelačným prístrojom Wild N3.

### **Ustavenie sušiackej časti PS7**

- Boli ustavené všetky cylindre a vodiace valce v sušiacich sekciách 6 - 9.
- Prioritou bolo výškové ustavenie cylindrov, kde bolo potrebné upraviť základové dosky pod ložiskovými domkami na strane obsluhy.
- Pod sušiacim cylindrom SC32 bola demontovaná prasknutá doska a bola nahradená za novú.
- V súčasnosti je celá sušiacia sekcia 6- 9 správne ustavená (viz. Príloha 1).
- Ďalej boli ustavené 3 valce v sušiacich sekciách 4 - 5 (viz. Príloha 1).
- 4 sušiacia sekcia je v súčasnosti dobre ustavená z výnimkou valcov SC20 a SC24, ktoré je potreba ustaviť výškovo (opäť treba demontovať základové dosky na frézovanie).
- 5 sušiacia sekcia je správne ustavená len s časťou, kedy valce spodného sita sú ustavené správne a naopak valce horného sita sú ustavené nesprávne, kde sú odchýlky až 6 mm.
- 1 - 3 sušiackej sekcii neboli v priebehu odstávky vykonané žiadne nastavovacie práce. Tieto sekcie nie sú správne ustavené, kde sú polohové odchýlky až 11,6 mm zistené pri meraní geometrie v roku 2014.

### **Ustavenie sacích skríň v sitovej sekcii PS7**

- Výškovo boli ustavené všetky sacie skrine základnej vrstvy.
- Pred ustavením boli veľké výškové odchýlky v geometrii sacích skríň. Medzi stranou obsluhy a stranou pohonu boli odchýlky až 6,0 mm.
- Najviac problémová a neustavená bola časť v oblasti styku spodných sacích skríň a horného formeru.
- Sacie skrine boli ustavené do vodorovnej roviny. Súčasne bola dodržaná naviazanosť na prsní a sací valec spodného sita.
- Prsní valec nie je dobre výškovo ustavený, kedy na strane obsluhy je vyššie o 1,5 mm, sacia skriňa bola ustavená v naviazanosti na prsní valec a postupne ustavená vodorovne.

- Pri vyhodnocovaní merania boli hodnoty výšok jednotlivých prvkov vzťahnuté voči výške prsného valca na strane obsluhy (viz. obrázok č. 27 a 28).
- V súčasnosti sú sacie skrine dobre ustavené.

#### Ustavenie valcov Top Formeru

- Polohovo i výškovo boli ustavené všetky valce Top formeru.
- Pred ustavením boli veľké chyby v geometrii valcov a to vo výške aj v polohe. Polohová odchýlka valca H. 1.5 bola 5,5 mm.
- Valce Top Formeru boli ustavené, z výnimkou valcov H.1.3 a H.1.6, kde boli ponechané pôvodné polohové odchýlky, pretože z konštrukčných dôvodov nebolo možné takéto ustavenie urobiť. Hodnoty odchýliek jednotlivých valcov sú uvedené v Tabuľke č.5.

#### Celkové zhodnotenie a odporúčenie:

- Cylindre a vodiace valce v sušiackej sekcii 6 - 9 sú správne ustavené, kedy sa **odporúča PREVÁDZKA**. Ostáva ustaviť niekoľko cylindrov a valcov v sušiacich sekciách 1 - 5.
- Sacie skrine základnej vrstvy sú správne ustavené, kedy sa **odporúča PREVÁDZKA**
- Valce horného formeru sú dobre ustavené, z výnimkou valcov H.1.3 a H.1.6, kde boli ponechané pôvodné polohové odchýlky **+ 2,0 mm resp. +3,4 mm**, pretože z konštrukčných dôvodov nebolo možné takéto ustavenie urobiť.

## 6. Záver

Diplomová práca mala predstaviť málo známú oblasť geodézie a to geodetické metódy merania geometrie papierenských strojov, ktorá sa radí medzi špecifickú časť inžinierskej geodézie. Diplomová práca rozoberá danú problematiku teoreticky aj prakticky.

V teoretickej časti diplomová práca venuje pozornosť prostrediu v priemyselných prevádzkach, ktoré je veľmi odlišné od prostredia, kde sa pohybuje klasická geodézia, upozorňuje na chyby, ktoré pri meraní v priemyselných prevádzkach môžu nastať a ako takéto chyby pri meraní môžeme vylúčiť. Ďalej rozoberá časti papierenského stroja, upozorňuje na to, že papierenský stroj je zložitý strojné zariadenie a rozdeľuje papierenský stroj na suchú a mokрую časť, udáva, ktoré časti sú dôležité a naopak menej dôležité. V druhej polovici sa diplomová práca zaoberá konkrétnymi geodetickými metódami, ktoré ku získaniu polohy bodu využívajú priestorovú polárnu metódu, kedy bola vypočítaná jej presnosť na základe použitej totálnej stanice Leica TDA5005.

Požadovaná presnosť pre ustavenie lisovacích valcov papierenského stroja je 0,3 mm. Smerodátňá odchýlka metódy v smere ose X je 0,3 mm, čo znamená, že používaný prístroj Leica TDA5005 spĺňa požadovanú presnosť pre takéto meranie, avšak je treba povedať, že papierenský stroj obsahuje väčšinou 2 až 3 lisovacie valce a ostatné valce papierenského stroja nevyžadujú takú vysokú presnosť ustavenia, samozrejme záleží akú presnosť stanoví zadávateľ prác. Okrem metód sú spomenuté pomôcky pre meranie, ktoré sú nevyhnutné pre takéto meranie a dodržanie požadovanej presnosti, ako sú špeciálne pravítka, magnetické podstavce alebo prizmy, odrazné mini hranoly.

Praktická časť diplomovej práce je zameraná na zameranie a ustavenie papierenského stroja PS7 v Monďi Štetí. Je to papierenský stroj na ktorom sa pravidelne vykonáva technická diagnostika raz ročne pri veľkých plánovaných odstávkach. V roku 2014 pri takejto odstávke boli zistené veľké polohové aj výškové odchýlky na celom zariadení, a pretože sa jedná približne o 150 valcov a takéto ustavenie je časovo veľmi náročné ustavili sa valce s najväčšími odchýlkami.

Plánovaná odstávka prebehla aj v roku 2015, kedy prioritou bolo ustaviť valce v suchej časti papierenského stroja (4-9 sušiacie sekcie) a zamerať geometriu sacích skríň

a Top formeru, ktoré sa nachádzajú v mokrej časti papierenského stroja. Po zameraní sacích skríň a Top formeru boli zistené veľké odchýlky a nutnosť ich ustaviť do správnej polohy.

Všetky požadované práce boli splnené, boli ustavené valce v sušiacich sekciách 6- 9 a niekoľko valcov v sušiacich sekciách 4- 5, ktoré sú správne ustavené, kedy sa odporúča PREVÁDZKA, ostáva ustaviť 1- 3 sušiacie sekcie a 5 sušiacu sekciu (valce horného sita), kde boli zistené polohové odchýlky až 11,6 mm. Všetky výsledné hodnoty sú zaznamenané v Prílohe č.1. Ďalej boli ustavené sacie skrine a Tom former, kedy sacie skrine boli ustavené, tak aby bola naviazanosť na prsný a sací valec, kvôli dôkladnej aplikácie papieroviny na sito (viz. Obrázok č.28), valce Top formeru boli ustavené do správnej polohy, okrem valcov H.1.6 a H.1.3, ktoré nebolo možné polohovo ustaviť z konštrukčných dôvodov (viz. Tabuľka č.5).

## Zoznam použitej literatúry

- [1] A.M.S: DCP05- Training Manual. 2002. ISSN 575'816/4-Jul-02.
- [2] ASOCIACE TECHNICKÝCH DIAGNOSTIKŮ ČR, o. s: *Technická diagnostika. Skripta a školení*, roč. XVIII., 2009, č.2. ISSN 1210- 311X.
- [3] ČERVENKA, Karel. *PAPÍRENSKÉ STROJE*. 2. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [4] KRUMPHANZL, Václav a Ondrej MICHALČÁK. *Inženýrská geodézie II*. 1. Praha: Kartografie, n. p., Praha, 1975.
- [5] Leica Geosystems, uživatelský manuál- Leica TDA5005
- [6] MICHALČÁK, Ondrej, Vlastimil STANĚK a Miroslav VESELÝ. *INŽINIERSKA GEODÉZIA II*. 1. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická v Bratislave, 1984.
- [7] MICHALČÁK, Ondrej, Otakar VOSIKA, Miloslav VESELÝ a Zdeněk NOVÁK. *Inženýrská geodézie I*. 1. vyd. Bratislava, 1985.
- [8] Mondi. *Mondi v České republice* [online]. Štetí [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.mondijobs.cz/cs/desktopdefault.aspx/tabid-1917/>
- [9] NOVÁK, Zdeněk a Jaromír PROCHÁZKA. *Inženýrská geodézie 10*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02407-5.
- [10] POSPÍŠILOVÁ, Lucie, Jiří POSPÍŠIL a Hana STAŇKOVÁ. Micro-network creation in industrial surveying. *Geodesy and Cartography*[online]. 2012, 38(2): 70-74 [cit. 2015-01-23]. DOI: 10.3846/20296991.2012.692216. ISSN 2029-6991. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/20296991.2012.692216>
- [11] SKALICKÝ, Čestmír, Jiří MÝL a Karel ČERVENKA. *Papírenské inženýrství*: Určeno pro posl. VŠCHT v Pardubicích. 1. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1990. ISBN 80-85113-13-9.

- [12] STAVAŘOVÁ, L. SLABÝ, V. POSPÍŠIL, J.: *Geodézie v papírenském průmyslu*. In: Sborník XII. Mezinárodní vědecké konference VUT v Brně, Sekce 11. Aktuální problémy inženýrské geodézie. VUT, Brno 2009. ISBN 978-80-7204-629-4.
- [13] ŠVÁBENSKÝ O., VITULA A., BUREŠ J.: *Inženýrská geodézie II, Analýza přesnosti vytyčení polohy, GE03 Modul 01*. VUT FAST Brno 2007
- [14] ČSN ISO 17123-3 Optika a optické přístroje- Tereční postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů- Část 3: Teodolity. Český normalizační institut, 2005.
- [15] ČSN ISO 17123-3 Optika a optické přístroje- Tereční postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů- Část 4: Elektrooptické d'alkoměry. Český normalizační institut, 2005.

## Zoznam obrázkov

Obrázok č.1	Chyba z refrakcie u meraní paralaktickou metódou [6]	5
Obrázok č.2	Diferenční refrakcia u geometrickej nivelácii [6]	6
Obrázok č.3	Schéma časti papierenského stroja [12]	9
Obrázok č.4	Referenčná rovina [1]	13
Obrázok č.5	Referenčná osa [1]	13
Obrázok č.6	Definované súradnicové osy pri metóde DOM	14
Obrázok č. 7	Príklad rozloženia transformačných bodov [1]	15
Obrázok č. 8	Prehľadná situácia určenia polohovej odchýlky	16
Obrázok č. 9	Prehľadná situácia určenia polohovej odchýlky v pôdoryse	17
Obrázok č. 10	Merané súradnice a ich diferencie	17
Obrázok č. 11	Princíp metódy opásania	19
Obrázok č. 12	Princíp metódy olovnice	19
Obrázok č. 13	Princíp určenia nivelety (geometrická nivelácia)	20
Obrázok č. 14	Dočasná stabilizácia bodov	21
Obrázok č. 15	Trvalá stabilizácia bodov	22
Obrázok č. 16	Stabilizácia hlavných bodov center line	23
Obrázok č. 17	Zaist'ovacie značky center line	23
Obrázok č. 18	Prizma	24
Obrázok č. 19	Statív pre meranie v priemysle	25
Obrázok č. 20	Leica TDA5005	26
Obrázok č. 21	Súradnicový systém stanice (SCS) [1]	27
Obrázok č. 22	Vzťah medzi súradnicovým systémom stanice (SCS) a objektu (OCS) [1]	27
Obrázok č. 23	Interpretácia výsledkov	29
2016		48



Obrázok č. 24	Areál Mondi Štětí [8]	34
Obrázok č. 25	Zápisník z nameranými hodnotami a znamienkovou konvenciou	37
Obrázok č. 26	Meranie Top Formeru	38
Obrázok č. 27	Výškové odchýlky sacích skríň pred ustavením	39
Obrázok č. 28	Výškové odchýlky sacích skríň po ustavení	40
Obrázok č. 29	Schéma meraných valcov Top Formeru	41

## Zoznam tabuliek

Tabuľka č. 1	Tolerancie polohy pre PS podľa Valmet	11
Tabuľka č.2	Upravené hodnoty tolerancie polohy pre PS	12
Tabuľka č. 3	Technické parametre Leica TDA 5005 [14],[15]	26
Tabuľka č. 4	Výpočet smerodatných odchýliek	31
Tabuľka č. 5	Geometria valcov Top formeru stroja PS7	41

## **Zoznam príloh**

- |             |   |
|-------------|---|
| Príloha č.1 | Geometria valcov sušiacej sekcie PS7 pred a po ustavení |
| Príloha č.2 | Výkresová dokumentácia sušiacej sekcie PS7              |